

Elias Peltonen

# Hankkeen keston ja vahvuuden arviointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

22.2.2018

Tekijä Otsikko	Elias Peltonen Hankkeen keston ja vahvuuden arviointi
Sivumäärä Aika	48 sivua + 1 liite 22.2.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine	Rakentamisen projektinhallinta
Ohjaajat	Työpäällikkö Kimmo Kärkkäinen Työmaainsinööri Emil Ranta Hankesuunnittelupäällikkö Esko Kerkkänen Lehtori Niilo Kempainen
<p>Opinnäyte tehtiin NCC Suomi Oy:n talonrakentamisen yksikölle. Työn tavoitteena oli selvittää mahdollisuuksia käyttää hyväksi työmaiden sähköisestä kulunvalvontajärjestelmästä, RamiSmartista, saatavia tuntitietoja sekä kehittää työkalu hankkeen keston ja vahvuuden arviointiin. Työkalun kehittämisessä apuna käytettiin myös NCC-projektipankista saatavia eri projektien toteutuneita rakennusaikoja. Kirjallisuuskatsauksessa perehdyttiin rakennusaikaan vaikuttaviin tekijöihin sekä rakennusajan määrittämiseen normaalikestokaavalla. Kirjallisuuskatsauksessa esiteltiin myös muutamia rakennushankkeita, joissa työsuunnittelu on ollut hyvää ja rakentamisaika lyhyt.</p> <p>Loppututkimus suoritettiin selvittämällä RamiSmartista toteutuneita työntekijätunteja, joiden avulla hankkeille muodostettiin kokonaistyömenekit koko projektille, eri rakentamisvaiheille sekä talotekniikan eri työlajeille. Vertaamalla tätä empiiristä tietoa laskennallisiin tietoihin saatiin selville prosentuaalinen tason vaihtelu, jonka perusteella voidaan laskennallisia arvoja tarvittaessa muokata vastamaan toteutunutta. Toteutuneiden tuntien avulla muodostettiin lisäksi vahvuuskertymäkuvaajat hankkeille.</p> <p>Tulokseksi saatiin, että hankkeiden toteutuneet kokonaistyömenekit olivat noin 15- 20 % suuremmat kuin laskennalliset. Rakentamisvaiheittaisissa työmenekeissä oli vaihtelua molempiin suuntiin. Selkein ero löytyi talotekniikan sekä käyttö- ja yhteiskustannusten tuntien vertailussa, jossa toteutuneet tunnit olivat reilusti suurempia kuin laskennalliset.</p> <p>Kehitetty työkalu perustuu Rakennustiedon sivuilta löytyvään normaalikestokaavaan, joka muokattiin vastaamaan NCC:n talonrakentamisen yksikön toteutuneita rakennusaikoja. Hanketyypit jaettiin kahteen osaan, toimistotalot sekä muut uudisrakennukset, ja molemmille muodostettiin omat kaavat. Työkalun avulla hankkeelle saadaan myös arvioitua työmaan keskivahvuus sekä suurin vahvuus.</p> <p>Tutkimus herätti suurta mielenkiintoa yrityksessä, ja tutkimusta jatketaan keväällä 2018 aloitettavassa diplomityössä.</p>	
Avainsanat	kokonaistyömenekki, kokonaistyötunnit, työmenekki, rakennusaika, vahvuus

Author Title	Elias Peltonen Evaluating Length and Manpower Need of Construction project
Number of Pages Date	48 pages + 1 appendix 22 February 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Professional Major	Project Management for Construction
Instructors	Kimmo Kärkkäinen, Contract Manager Emil Ranta, Site Engineer Esko Kerkkäinen, Project Development Manager Niilo Kemppainen, Senior Lecturer
<p>This Bachelor's thesis was commissioned by NCC Suomi Ltd. The purpose of this thesis was to explore the opportunities of using the information from the worksite access control system, RamiSmart and to develop a tool for evaluating the length and amount of manpower of a project. NCC project bank's information, concerning construction projects length, was used in developing the tool. The literature review focused on factor affecting the building time and the determination of the building time on the standard duration-formula. A few construction projects with optimal work-planning and short building time are also presented.</p> <p>The rest of the study was carried out by finding out the actual hours worked from RamiSmart. From that information the hours spend per square-m<sup>2</sup> at the whole project and at different phases of construction were gathered. The hours spent per square-m<sup>2</sup> were also determined for building services. By comparing this empirical data with the ESTI model's computational data, the percentage variation level was obtained, which could be used to modify the computational values to match the actual values. An graph on the evolvement of manpower was also generated from the actual hours worked.</p> <p>The results indicated that the actual total workload of the projects was about 15 to 20 % higher than calculated. In the hours spend per square-m<sup>2</sup> there was variation in both directions on the different construction phases. The clearest difference was found at the building services and at the work concerning utility and joint costs, where the actual hours worked where far higher than the computational data would have suggested.</p> <p>The developed tool is based on the standard duration-formula found on the Rakennustieto-website. The formula was tailored to meet the actual building times of NCC's projects. Project types and the formula where split into two, office building and other buildings. The tool also estimates the average strength and maximum strength.</p> <p>The research attracted great interest in the company and the research continues in a master's thesis in spring 2018.</p>	
Keywords	building time, manpower, hours worked, hours per square-m <sup>2</sup>

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tausta	1
1.2	Tutkimusmenetelmät ja aineisto	1
1.3	Tavoite	1
2	Rakennusaika	2
2.1	Rakentamishankkeen kestoon vaikuttavia tekijöitä	2
2.2	Kokonaistyömenekki	4
2.3	Normaalikesto	4
2.4	Resurssitarve	8
2.5	Työn ajallinen suunnittelu	9
2.5.1	Esimerkki 1: Empire State Building	9
2.5.2	Esimerkki 2: Jehovan todistajien valtakunnansali	10
3	Aineisto ja tutkimusmenetelmät	12
3.1	Hankkeet	12
3.2	Tutkimusmenetelmät	13
3.2.1	RamiSmart-läsnäolovalvontajärjestelmä	13
3.2.2	ESTImodelilla tehdyt laskelmat	16
3.2.3	Muu aineisto	16
3.3	Tehdyt mittaukset	17
3.3.1	Kokonaistyötunnit sekä kokonaistyömenekki	17
3.3.2	Vahvuuskäyrä sekä keskivahvuus	17
3.3.3	Rakentamisvaiheittainen jaottelu	19
3.4	Talotekniikka	21
4	Tulokset	23
4.1	Empiirisen ja laskennallisen tiedon vertailu	23
4.1.1	Toimistotalot	23
4.1.2	Muut uudisrakennuskohteet	25
4.1.3	Korjauskohteet	27
4.2	Vahvuus	28
4.3	Talotekniikka	33
4.4	Excel-pohjainen työkalu hankkeen keston ja vahvuuden arviointiin	38

4.5	Toteumatietojen luotettavuus	41
5	Johtopäätökset	44
5.1	Empiirisen ja laskennallisen tiedon vertailu	44
5.2	Vahvuus	45
5.3	Talotekniikka	46
6	Tulosten hyödyntäminen yrityksen toiminnassa	46
6.1	Tarjouslaskenta	46
6.2	Työsuunnittelu	46
6.3	Työnjohto	47
7	Yhteenveto	47
	Lähteet	49
	Liitteet	
	Liite 1. Haastattelu	

## Lyhenteet

brm <sup>2</sup>	Bruttoneliö.
Kokonaistyömenekki	Kertoo sen aikamäärän, mitä tarvitaan koko suoritteen/työn tekemiseen.
Normaalikesto	Kireystason mukainen rakennusaika kuukausina, josta on vähennetty kesälomakuukaudet ja ennalta tiedetyt keskeytykset.
RamiSmart	Työmailla käytettävä sähköinen kulunvalvontajärjestelmä
TR	NCC Suomi Oy:n talonrakentamisen yksikkö
tth	Työntekijäkohtainen työtunti.
tth/brm <sup>2</sup>	Työmenekki. Kuvaa kuinka monta työntekijätuntia vaaditaan yhden bruttoneliön valmiiksi saattamiseen.

# 1 Johdanto

## 1.1 Tausta

Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu on yksi tärkeimmistä tehtävistä hankkeen onnistumisen kannalta. Ajallisella suunnittelulla pyritään optimoimaan hankkeiden rakentamisaika niin, että aikataulu ei ole liian väljä eikä liian kireä, sillä aika vaikuttaa sekä kustannuksiin että laatuun. Jos rakentamisaika on liian kireä, joudutaan hankkeen aikana lisäämään resursseja, jotta aikataulu saadaan kiinni, mikä lisää kustannuksia sekä heikentää laatua. Vastaavasti jos rakentamisaika on liian väljä, sitoo se resursseja, jolloin kustannuksia kertyy enemmän kuin optimaalisella aikataululla.

1980-luvulla, kun rakennusyritykset käyttivät vielä pääosin pelkästään omia työntekijöitä, työsuunnittelussa käytettiin keskeisenä tekijänä työmenekkiä. 1990-luvun laman jälkeen aliurakoitsijoiden käyttäminen on ollut jatkuvassa nousussa, mikä on osaltaan johtanut siihen, että työmenekkitietoja ei enää kunnolla tiedetä.

Ohjaajina toimivat NCC Suomi Oy:n puolesta työpäällikkö Kimmo Kärkkäinen sekä työmaainsinööri Emil Ranta sekä hankesuunnittelupäällikkö Esko Kerkkänen. Metropolia Ammattikorkeakoulun puolesta ohjaajana toimii lehtori Niilo Kemppainen.

## 1.2 Tutkimusmenetelmät ja aineisto

Tutkimusmenetelminä opinnäytetyössä käytetään kirjallisuuskatsausta sekä empiiristä tutkimusta. Aineistoina tutkimuksessa käytetään NCC:n sisäisiä projektiraportteja, ESTI-model-laskelmia sekä työmaiden sähköisen kulunvalvontajärjestelmän tuntikertymätietoja.

## 1.3 Tavoite

Tutkimuksessa on kaksi tavoitetta. Ensimmäinen tavoite on hankkia sähköisestä kulunvalvontajärjestelmästä empiiristä tietoa hankkeiden toteutuneista työntekijätunneista sekä selvittää, millä eri tavoin näitä tietoja voidaan käyttää hyväksi. Toisena tavoitteena

on luoda valmistuneiden hankkeiden rakennusaikojen perusteella Excel-pohjainen työkalu hankkeen keston ja vahvuuden arviointiin.

## 2 Rakennusaika

Rakennuttaja määrittää urakkasopimuksessa rakennushankkeelle alkamisajankohdan ja valmistumispäivän eli hankkeen keston. Kriteereinä keston määrittämiseen on ollut aiempaan kokemukseen perustuva käsitys kohtuullisuudesta, tarkoituksenmukaisuus kustannusten kannalta sekä laaturiskit eliminoiva rakennusaika. Kohtuullisesta rakennusajasta voidaan poiketa, mikäli esimerkiksi rakennuksen on valmistuttava tiettyyn ajankohtaan mennessä tai jos viranomaiskäsittelyyn kuluu luultua enemmän aikaa. Rakennusyrityksen kannalta hankkeen ajoitukseen vaikuttavat kilpailu-urakoissa samat asiat kuin rakennuttajalla. Tämän lisäksi rakennusyrityksellä ajoitukseen vaikuttaa yhteisten resurssien kuormitus.

Yksittäiset hankkeet ovat keston kireyden kannalta erilaisia. Jos rakennuttajan määrittämä rakennushankkeen valmistumispäivä ei ole kriittinen, on molempien osapuolien kannalta tarkoituksenmukaista pyrkiä etsimään taloudellisesti ja laadullisesti optimaalinen hankkeen kesto. Urakoitsijan kannalta oleellista on tarjouksen yhteydessä tutkia, onko rakennuttajan määrittämä hankkeen kesto kireä tai löysä. [1., s.19.]

### 2.1 Rakentamishankkeen keston vaikuttavia tekijöitä

Rakentamishankkeen keston vaikuttavat tekijät voidaan jakaa neljään pääkategoriaan: projektin laajuus, projektin ympäristö, projektin monimutkaisuus sekä johtamistaidot. Projektin laajuus sisältää muun muassa rakennuksen bruttoalan, kerroslukumäärän, rakennustyyppin sekä rakentamiskustannukset. [2.] Kun laajuus ja/tai kerroslukumäärä kasvaa, siirtymävälit kasvavat.

Projektin monimutkaisuudella tarkoitetaan työmaan sijainnin ja olosuhteiden haasteellisuutta, suunnittelua sekä asiakkaan piirteitä. [2.] Jokainen projekti on jollain tapaa erilainen. Työmaan sijainnit ja työmaa-alueen koot muuttuvat, jotka saattavat vaikeuttaa



työmaan logistiikkaa. Myös suunnittelun taso saattaa vaihdella suuresti projektien välillä.

Johtamistaidoilla tarkoitetaan asiakkaan, suunnittelijoiden ja tuotannon henkilöiden ominaisuuksia, kommunikointitaitoja sekä kykyä johtaa. [2.] Yhteistyökyky sekä kommunikointitaidot rakennushankkeen eri osapuolien välillä ovat erittäin tärkeitä rakennushankkeen onnistumisen kannalta. Mahdolliset erimielisyydet ja päätösten teon viivästymiset saattavat pidentää rakennushankkeen kestoa.

Projektin ympäristöllä tarkoitetaan muun muassa fyysistä ja taloudellista ympäristöä. [2.] Esimerkiksi huonot pohjaolosuhteet saattavat vaatia enemmän aikaa maanrakennusvaiheessa sekä myös vaikuttaa työmaan logistiikkaan.

Rakentamishankkeen kestoon voidaan vaikuttaa myös kohteen osittelulla eli lohkojaolla. Lohkolla tarkoitetaan kohteen fyysistä osaa, joko erillistä rakennusta tai rakennuksen osaa, jossa työt tehdään valmiiksi yhtenä kokonaisuutena. Lohkojako voidaan tehdä sijainnin, kerrosluvun, tuotantotekniikan tai suunnitteluratkaisujen perusteella. Rajoina voivat toimia esimerkiksi moduulilinjat tai liikunta- tai työsaumat. Lohko on kokonaisuus pystysuunnassa kellarista ylimpään kerrokseen. Pienissä ja monikerroksisissa rakennuksissa lohkojaon tekeminen on vaikeaa. Sopiva lohkon koko on noin 3000-5000 brm<sup>2</sup>.

Jokainen lohko suunnitellaan ja toteutetaan omana kokonaisuutena. Lohkojaon edut perustuvat töiden limitykseen. Kun runko saadaan yhdessä osassa valmiiksi, voidaan sisävalmistustyöt aloittaa aikaisemmin. Aikaistamalla sisävalmistustöiden aloitusta voidaan lyhentää koko rakennusaikaa tai pidentää tehtävien välisiä aloitusvälejä, jolloin aikataulun häiriöherkkyys vähenee. Suoritusjärjestyksen optimointiin lohkojen välillä pyritään ns. Hossin sääntöä soveltaen. Työt aloitetaan lohkoista, jossa perustus- ja runkovaihe on lyhin ja viimeiseksi valitaan se lohko, jossa sisävalmistusvaihe on lyhin jäljellä olevista. [3, s.24.]

Talvirakentaminen on rakennusaikaa pidentävä tekijä. Talvilisätyöt, kuten suojaustyöt sekä lumityöt, aiheuttavat keskeytyksiä rakentamiseen. Talvityöhaitat ja -lisät, tuotantokatkokset ja -keskeytykset sekä työnaikaiset asennukset pidentävät talvella tehtäviä töitä. Esimerkiksi talvibetonointiin sisältyy suojaus, lämmitys sekä lumi- ja jäätyöt. Tuotantokatkoksia saattaa syntyä esimerkiksi pakkasen rikkomista koneista. Talven vaiku-

tuksen suuruus riippuu siitä, mikä rakentamisvaihe ajoittuu talveen. Jos maarakennus, perustus- ja runkovaihe ajoittuu talveen, on sillä huomattavasti suurempi vaikutus kuin sillä, että sisävalmistusvaihe ajoittuu talveen. [4, s.13.]

## 2.2 Kokonaistyömenekki

Hankkeen kokonaistyömenekillä kuvataan työmaalla tapahtuvan pääurakoitsijan, rakennusteknisten alihankintojen sekä talotekniikan töiden työmenekkiä. Työnjohtajien työmenekit eivät sisälly kokonaistyömenekkiin. Kokonaistyömenekillä kuvataan siis hankkeen tuotannollista laajuutta. Kokonaistyömenekki ilmoitetaan työntekijätunteina bruttoneliötä kohti. (tth/brm<sup>2</sup>)

Suunnitteluratkaisut määrittelevät määrät, laadun, detaljit sekä tuotantotekniikan. Eri-laiset ratkaisut saattavat poiketa toisistaan huomattavasti, mikä vaikuttaa kustannuksiin sekä kokonaistyömenekkeihin. Kohteen laajuudella on myös vaikutus kokonaistyömenekkeihin. Jos jonkin rakennusosan määrä kasvaa, suoritus nopeutuu ja työmenekit pienenevät, jolloin myös kokonaistyömenekki pienenee. Vaikeasti toteutettavat detaljit eli yksityiskohdat eri rakennusosissa kasvattavat kokonaistyömenekkiä. [4,s.26.]

Kokonaistyömenekistä puhuttaessa voidaan tarkoittaa myös jonkin tietyn rakentamisvaiheen kokonaistyömenekkiä, esimerkiksi maanrakennus- tai runkovaihe. Kun kokonaistyömenekki tiedetään, voidaan hankkeelle tai rakentamisvaiheelle laskea bruttoalan perusteella kokonaistyöpanos. Kokonaistyömenekki (tth/brm<sup>2</sup>) kerrotaan bruttoalalla (brm<sup>2</sup>), jolloin tulokseksi saadaan kokonaistyöpanos (tth). Kokonaistyöpanoksen avulla kuvataan kuinka monta työntekijätuntia vaaditaan, jotta jokin rakentamisvaihe tai koko hanke saadaan valmiiksi. Kokonaistyöpanoksen avulla voidaan laskea myös tietylle rakentamisvaiheelle tai koko hankkeelle normaalikesto.

## 2.3 Normaalikesto

Normaalikestolla tarkoitetaan tavanomaisen kireystason sekä hankkeen rakennussuunnitelmien mukaista rakennusaikaa. Normaalikesto antaa rakennusajan kuukausina, josta on vähennetty kesälomakuukaudet sekä ennalta tiedetyt keskeytykset. Vertaamalla normaalikestolla saatua rakentamisaikaa hankkeen toteuttamiseen varattuun

aikaan voidaan tarkistaa aikataulun kireys. Normaalikesto lasketaan hankkeen kokonaistyöpanoksen perusteella. Kokonaistyöpanos ei sisällä työnjohdon tunteja. Isojen kohteiden, jossa kokonaistyöpanos on yli 10 000 tth, normaalikesto lasketaan kaavalla:

$$T_N = 4,6 \cdot \ln(\text{hankkeen kokonaistyötuntimäärä}) - 35,0$$

Hankkeen rakennusaika voi poiketa normaalikestosta. Poikkeaman ollessa alle 20%, ei se aiheuta merkittäviä lisäkustannuksia, jos hanke toteutetaan lohkoittain tai esivalmistustasastetta muutetaan.[3, s.20.] Normaalikesto voidaan määrittää myös eri rakennusvaiheille. Rakennusvaiheet ovat maanrakennusvaihe, perustusvaihe, runkovaihe, sisävalmistusvaihe ja luovutusvaihe.

Vaihe	Vaiheen kokonaistyötuntimäärän sisältämät työkokonaisuudet	
Maanrakennusvaihe	1	Maa- ja pohjarakennus <i>Ei sisällä rakentamismikkeitä:</i> 17 Rakennusalueen rakenteet 18 Ulkovarusteet
Perustus	2	Perustukset ja ulkopuoliset rakenteet
	7	Konetekniset työt (5 %)
	8,9	Käyttö- ja yhteiskustannukset (10 %) <i>Ei sisällä rakentamismikkeitä:</i> 28 Ulkopuoliset rakenteet
Runko	28	Ulkopuoliset rakenteet
	3	Runko- ja vesikattorakenteet
	7	Konetekniset työt (15 %)
	8,9	Käyttö- ja yhteiskustannukset (30 %)
Sisävalmistus	17	Rakennusalueen rakenteet
	18	Ulkovarusteet
	4	Täydentävät rakenteet
	5	Pintarakenteet
	6	Kalusteet, varusteet, laitteet
	7	Konetekniset työt (60 %)
	8,9	Käyttö- ja yhteiskustannukset (50 %)
Luovutus	7	Konetekniset työt (20 %)
	8,9	Käyttö- ja yhteiskustannukset (10 %)

Kuva 1. Rakennusvaiheiden työkokonaisuudet.[3, s.21.]

Nimikkeet on numeroitu TALO-80-nimikkeistön mukaan. Maanrakennusvaihe ei kuitenkaan sisällä rakennusalueen rakenteiden eikä ulkovarusteiden kokonaistyöpanosta, vaan ne sisällytetään sisävalmistusvaiheeseen. Ulkopuoliset rakenteet sisällytetään runkovaiheeseen perustusvaiheen sijaan. Koneteknisten töiden osuus on jaettu perustus- (5 %), runko- (15 %), sisävalmistus- (50 %) ja luovutusvaiheelle (10 %). Kuvassa 2 esitetään normaalikeston laskentakaavat eri vaiheille.

Vaihe	Normaalikeston laskentakaava (kk)
Maanrakennusvaihe	$1,3 \times \ln (T_M) - 7,3$
Perustus	$0,7 \times \ln (T_P) - 3,4$
Runko	$3,5 \times \ln (T_R) - 27,0$
Sisävalmistus	$2,9 \times \ln (T_S) - 21,8$
Luovutusvaihe	$1,8 \times \ln (T_L) - 10,4$

$T_M$  = Maanrakentamisen kokonaistyötuntimäärä  
 $T_P$  = Perustusvaiheen kokonaistyötuntimäärä  
 $T_R$  = Runkovaiheen kokonaistyötuntimäärä  
 $T_S$  = Sisävalmistusvaiheen kokonaistyötuntimäärä  
 $T_L$  = Luovutusvaiheen kokonaistyötuntimäärä

Kuva 2. Rakennusvaiheiden normaalikestojen laskentakaavat.[3, s.22.]

Rakennusvaiheet limittyvät toisiinsa nähden. Limitykset johtuvat vaiheiden sisällöstä ja työjärjestyksestä. Esimerkiksi ennen sisäpuolisia täyttöjä täytyy tehdä perustukset ja ikkunoiden asennus sekä muuraustyöt limittyvät runkovaiheeseen nähden. Limitysten suuruudet riippuvat edellisen työvaiheen kokonaistyöpanoksista.[3, s.21.]

Limitys	Limityksen laskentakaava (%)
Maanrakennus-perustus	$25 + (T_M / 200)$
Perustus-runko	$25 + (T_P / 290)$
Runko-sisävalmistus	$25 + (T_R / 530)$

$T_M$  = Maanrakentamisen kokonaistyötuntimäärä  
 $T_P$  = Perustusvaiheen kokonaistyötuntimäärä  
 $T_R$  = Runkovaiheen kokonaistyötuntimäärä

Kuva 3. Rakennusvaiheiden limityksien kaavat.[3, s.22.]

Seuraavaksi esitetään normaalikestojen laskentaesimerkki. Esimerkkikohde sisältää kolme yksirappuista ja viisikerroksista asuinkerrostaloa. Yhteenlaskettu tilavuus on  $14860 \text{ m}^3$ , bruttoala  $4610 \text{ brm}^2$  ja huoneistoala  $3440 \text{ hm}^2$ .

Työnosa (Talo 80)		tth, T4
1	Maa- ja pohjarakennus, (ei sisällä 17 & 18)	1700
17	Rakennusalueen pintarakenteet	1300
18	Ulkovarusteet	1000
2	Perustukset ja ulkopuoliset rakenteet (ei sisällä 28)	1600
28	Ulkopuoliset rakenteet	1600
3	Runko- ja vesikattorakenteet	4000
4	Täydentävät rakenteet	4400
5	Pintarakenteet	8500
6	Kalusteet, varusteet ja laitteet	1200
7	Konetekniset työt	10000
8,9	Käyttö- ja yhteiskustannukset	3000
1 - 9	Yhteensä	38300

Kuva 4. Esimerkkikohteen kokonaistyöpanokset.[3, s.22.]

Rakennusajan normaalikesto pyöristetään kuukausitarkkuudella ylöspäin, rakentamisvaiheet kuukausitarkkuudella lähimpään kokonaislukuun. Koneteknisten töiden osuus on jaettu perustus-, runko-, sisävalmistus- ja luovutusvaiheelle.

Rakennusvaihe	Normaalikeston laskentakaava	Normaalikesto
Koko rakennusvaihe	$4,6 \times \ln(38300) - 35,0 = 13,6 \text{ kk}$	14 kk
Maanrakennus	$1,3 \times \ln(1700) - 7,3 = 2,4 \text{ kk}$	2 kk
Perustus	$0,7 \times \ln(2400) - 3,4 = 2,0 \text{ kk}$	2 kk
Runko	$3,5 \times \ln(8000) - 27,0 = 4,5 \text{ kk}$	5 kk
Sisävalmistus	$2,9 \times \ln(23900) - 21,8 = 7,4 \text{ kk}$	7 kk
Luovutusvaihe	$1,8 \times \ln(2300) - 10,2 = 3,7 \text{ kk}$	4 kk

Kuva 5. Esimerkkikohteen normaalikestojen määrittäminen.[3, s.23.]

Kun kuvan 5 mukaiset normaalikestot on määritetty, lasketaan rakennusvaiheiden limitykset. Limitykset lasketaan kuvan 6 kaavojen avulla.

Rakennusvaihe	Limityksen laskentakaava	Limitys
Maanrakennus-perustus	$25 + (1700 / 200) = 33,5 \%$	34 %
Perustus-runko	$25 + (2400 / 290) = 33,3 \%$	33 %
Runko-sisävalmistus	$25 + (8000 / 530) = 40,1 \%$	40 %

Kuva 6. Esimerkkikohteen limityksien määrittäminen.[3, s.23.]

Kun limitykset on määritelty, voidaan niiden perusteella määritellä rakennusvaiheiden aloituskuukaudet.

Rakennusvaihe	Rakennusvaiheen aloituskuukauden määrittäminen	Alku	Kesto	Loppu
Maanrakennus		0	2	2
Perustus	$2 \text{ kk} - (34 \% \times 2 \text{ kk}) = 1,3 \text{ kk}$	2	2	4
Runko	$4 \text{ kk} - (33 \% \times 5 \text{ kk}) = 2,4 \text{ kk}$	3	5	8
Sisävalmistus	$8 \text{ kk} - (40 \% \times 7 \text{ kk}) = 5,2 \text{ kk}$	6	7	13
Luovutusvaihe	$14 \text{ kk} - 4 \text{ kk} = 10 \text{ kk}$	10	4	14

Kuva 7. Esimerkkikohteen rakennusvaiheiden aloituskuukausien määrittäminen.[3, s.23.]

Kun rakentamisen aloituspäivämäärä on tiedossa sekä eri rakennusvaiheiden aloituskuukaudet selvillä, voidaan tarkastella esimerkiksi talven vaikutusta rakentamiseen, sillä runkovaiheen ajoittuminen talveen vaikuttaa rakentamisaikaan enemmän kuin sisävalmistusvaiheen ajoittuminen talveen.

## 2.4 Resurssitarve

Hankkeen tai rakentamisvaiheen kokonaistyöpanoksen sekä normaalikeston mukaisen rakennusajan perusteella hankkeelle ja sen vaiheille voidaan määritellä keskimääräiset resurssitarpeet. Resurssitarve lasketaan jakamalla kokonaistyöpanos rakentamiseen varatuilla kuukausilla. Kuukaudessa on laskennallisesti 21 työpäivää ja työpäivän pituutena voidaan pitää kahdeksaa tuntia, kuukaudessa on näin ollen 168 työtuntia (21tv x 8h/tv). [5, s.65.]

Esimerkkikohteen normaalikesto 14 kk ja kokonaistyöpanos 38 300 työntekijätuntia. Resurssitarpeen laskentaesimerkki:

Aikaa 14 kuukautta =  $38300 \text{ tth} / (14\text{kk} \times 168 \text{ h/kk}) = 16 \text{ työntekijää}$

## 2.5 Työn ajallinen suunnittelu

Työnsuunnittelulla tarkoitetaan niitä toimenpiteitä, joilla tuote (rakennus = rakennus-suunnitelmat) muutetaan ennen työn aloittamista toimeenpano-ohjeeksi ja ohjelmaksi. Yksityiskohtaisuus riippuu aina rakennusvaiheesta ja kohteesta, mutta ohjelma vastaa muodossa tai toisessa aina kysymyksiin: millä menetelmillä, millä resursseilla, missä ajassa, minä ajankohtana ja kenen toimesta hanke tullaan toteuttamaan. Mitä erikoisempi ja vaikeampi hanke on kyseessä, sitä suuremmat mahdollisuudet työnsuunnittelulla on vaikuttaa lopputulokseen. [6, s.76.]

Työnsuunnittelun tarkkuuteen oleellisesti vaikuttava tekijä on suunnittelun lähtötietojen laatu ja varmuus. Esimerkiksi miten määrälaskenta pystyy palvelemaan työnsuunnittelun tarpeita, ja minkälaisia tietoja yrityksellä on käytettävissä. Työnsuunnittelu ei siis ole ennustamista, vaan käytettävissä olevien tietojen perusteella realistista toteutusmallin etsimistä. Tavoitteena pitäisi olla antaa mahdollisimman lähellä tuotantoa oleville henkilöille, joilla on paras tietämys asiasta, mahdollisuus olla mukana suunnittelussa. [6, s.77- 78.]

### 2.5.1 Esimerkki 1: Empire State Building

Tarkasta työnsuunnittelusta ja nopeasta rakentamisesta toimii esimerkkinä yli 80 vuotta sitten rakennettu Empire State Building. Ennen varsinaisen rakentamisen aloitusta tieltä purettiin vanha hotelli. Purkutöitä oli tekemässä 600 miestä, töitä tehtiin yötä päivää. Ajan säästämiseksi perustusten kaivaminen alkoi jo ennen kuin koko tontti oli kokonaan raivattu. Maaliskuussa 1930, viiden kuukauden urakan jälkeen, kuljetettiin pois viimeinen kuorma tiilen kappaleita, graniittilohkareita ja maata. Tilalle oli kaivettu 12 metrin syvyinen monttu, johon oli valettu anturat valmiiksi ja rungon tekeminen alkoi.

Runkovaihe oli erittäin tarkkaan suunniteltu. Elementteihin oli merkattu tarkka sijoituspaikka sekä nostokurjen numero, millä se tuli nostaa. Kaiken kaikkiaan Empire State Buildingin työmaalla työskenteli yhteensä 3000 rakennustyöläistä 60 eri tehtävässä. Teräsrunko ja julkisivu valmistuivat 13. marraskuuta 1930. 381 metriä korkea, 102-kerroksisen pilvenpiirtäjän runko nousi 242 päivässä. Sisätyöt kestivät tämän jälkeen

vielä noin viisi kuukautta ja rakennus vihittiin käyttöön 1.toukokuuta 1931. Nykyrahassa Empire State Buildingin hinta on noin 600 miljoonaa. [7.]



Kuva 8. Empire State Building valmistui vain kahdeksassa kuukaudessa.. Lähde: [7.]

Projekti on kokoluokassaan maailman nopeimmin rakennettu rakennus. Runko nousi keskimäärin 4,5 kerrosta viikossa. Runko- ja sisävalmistustyöt tehtiin vuodessa ja 45 päivässä. [8.]

#### 2.5.2 Esimerkki 2: Jehovan todistajien valtakunnansali

Toinen esimerkki nopeasta rakentamisesta on Jehovan todistajien valtakunnansali. Esimerkkikohde on Turkuun vuonna 2008 rakennettu noin 400 m<sup>2</sup> matalaenergiatalo. Työt tehtiin 24.7 -3.8 välisenä aikana eli 10 päivässä, johon sisältyi vielä 4 päivän väli-viikko. Eli todellinen tehollinen rakentamisaika oli 6 päivää. Kohteessa oli yhteensä noin 200 vapaaehtoistyöntekijää. [9.]





Kuva 9. Tilanne torstaina 27.7.2008 Lähde: [9.]

Jos lasketaan esimerkiksi, että 200 miestä on tehnyt töitä 10 tuntia päivässä, yhteensä kuusi päivää tulee siitä kokonaistyötunneiksi yhteensä 12 000 tuntia. Kun tämä jaetaan kohteen laajuudella ( $400\text{m}^2$ ) saadaan kokonaistyömenekiksi  $30\text{ tth/m}^2$ .



Kuva 10. Valmis valtakunnansali, 3.8.2008. Lähde: [9.]

Tämän kaltaisessa kohteessa, jossa hanke toteutetaan vapaaehtoisvoimin, ei ole eri yritysten välisiä sopimussuhteita, jolloin vältetään mahdollisilta riitatilanteilta ja erimieli-

syyksiltä. Tämä nopeuttaa rakentamista siinä mielessä, että esimerkiksi mestan vastaanottoja tai osakohteen luovutuksia ei tarvitse tehdä vaan kaikilla työntekijöillä on yhteinen tavoite saada rakennus valmiiksi.

Valtakunnansali on koko luokaltaan todella pieni verrattuna ison rakennusliikkeen hankkeisiin, mutta kuvastaa hyvin, kuinka työntekijävahvuudella sekä hyvällä työsuunnittelulla voidaan lyhentää rakentamisaikoja

### **3 Aineisto ja tutkimusmenetelmät**

#### **3.1 Hankkeet**

Tutkimuksessa tarkasteltiin kahdeksaa hanketta, joista kuusi oli uudisrakentamis- ja kaksi korjausrakentamishanketta. Hankkeet jaettiin kolmeen kategoriaan: toimistotalot, muut uudisrakentamisen kohteet ja korjausrakentamisen kohteet. Hankkeet 1-7 ovat talonrakentamisyksikön hankkeita, hanke 8 on korjausrakentamisyksikön.

Toimistotaloja oli tarkastelussa yhteensä kolme kappaletta. Hankkeet 1 ja 2 ovat brutto-alaltaan noin 9000 m<sup>2</sup>. Maanpäällisiä kerroksia on kahdeksan ja ylimmässä kerroksessa sijaitsee IV-konehuone. Rakennuksiin kuuluu myös kellarikerros.

Kolmas toimistokohde, hanke 3, on brutto-alaltaan noin 6500 m<sup>2</sup>. Maanpäällisiä kerroksia on seitsemän ja ylimmässä kerroksessa sijaitsee IV-konehuone. Poikkeuksellisesti hankkeeseen ei kuulunut maanrakennus- eikä perustustöitä, sillä ne olivat toteutettu jo aikaisemmassa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa rakennettiin vieressä sijaitseva toimistotalo sekä tämän toimistotalon kellarikerros.

Muita uudisrakentamisen kohteita tarkastelussa oli kolme kappaletta. Hanke 4 on osittain kaksikerroksinen liikekeskus, brutto-alaltaan noin 5500 m<sup>2</sup>. Hanke 5 on kolmekerroksinen koulu, bruttoalaltaan noin 7900 m<sup>2</sup>. Hanke 6 on konesali, jonka töihin liittyi myös vanhan teollisuushallin purkua, brutto-alaltaan noin 5500 m<sup>2</sup>.

Korjausrakentamiskohteita tarkastelussa oli kaksi kappaletta. Hanke 7 on brutto-alaltaan noin 6000 m<sup>2</sup>, jossa saneerattiin erään yrityksen pääkonttorin kolme eri osaa. Hanke 8 on kulttuurikeskus, brutto-alaltaan noin 8500 m<sup>2</sup>.

### 3.2 Tutkimusmenetelmät

#### 3.2.1 RamiSmart-läsnäolovalvontajärjestelmä

Vuonna 2014 voimaan tulleesta rakentamiseen liittyvästä tiedonantovelvollisuudesta johtuen NCC:n rakennustyömailla on otettu käyttöön sähköinen kulunvalvontajärjestelmä. Tarkastelussa olleilla työmailla on käytetty Ramirent Finland Oy:n, RamiSmart-läsnäolovalvontajärjestelmää, lyhemmin RamiSmart. Osana työmaaperehdytystä henkilöiden henkilökorttiin lisätään kulkuoikeus työmaalle. Kulku työmaalle tapahtuu pyöröportin kautta, jolloin järjestelmä kirjaa henkilön työmaalle sisään. Vastaavasti, kun henkilö kulkee portista ulos, järjestelmä kirjaa henkilön ulos työmaalta. Läsnäolovalvontajärjestelmä kerää tuntikertymää kaikista työmaille perehdytetyistä henkilöistä.

Tutkimuksessa tarkasteltiin itse työn tekemiseen käyttävää aikaa eli työntekijöiden tunteja. Kaikista toteutuneista tunteista on vähennetty suunnittelijoiden, pääurakoitsijan toimihenkilöiden, tilaajan/rakennuttajan edustajien sekä valvojien tunnit. Tutkimuksessa esitettäviin tunteihin sisältyy aliurakoitsijoiden työnjohtajien tunnit.

The image shows a web-based search interface for the RamiSmart system. It features several input fields and buttons:

- A dropdown menu at the top left, currently showing a blacked-out selection.
- A date selection dropdown labeled "Päivä" with a downward arrow.
- A text input field labeled "Yritys" (Company).
- A checkbox labeled "Pystysuuntainen ryhmitys" (Vertical grouping).
- A text input field labeled "Työntekijä" (Employee).
- A text input field labeled "Päivämäärä" (Date).
- A text input field labeled "Päätymispäivä" (End date).
- A blue button labeled "Etsi" (Search).
- A button labeled "Clear" on the right side.

Kuva 11. RamiSmartin käyttöpaneeli. Lähde: RamiSmart-portaali.

Yllä olevasta kuvasta 11 näkee RamiSmartin käyttöpaneelin. Tarvittaville työmaan henkilöille lisätään RamiSmartin käyttöoikeudet, yhdellä henkilöllä voi olla käyttöoikeu-

det usealle työmaalle. Mustalla ylivivatussa kohdasta käyttäjä voi valita minkä työmaan tietoja hän haluaa tarkastella.

Ylivivatus kohdan alapuolella olevasta yrityskohdasta käyttäjä voi valita, minkä yrityksen tunteja hän haluaa tarkastella. Yrityksiä voi valita useita kerralla. Vasemmassa alakulmassa olevista päivämäärä-kohdista käyttäjä voi valita tarkastelujakson aloitus- ja päättymispäivät. Tietoja voi tarkastella millä tahansa käyttäjän haluamalla aikavälillä, esimerkiksi päivän, viikon, kuukauden tai koko rakentamisen ajalta.

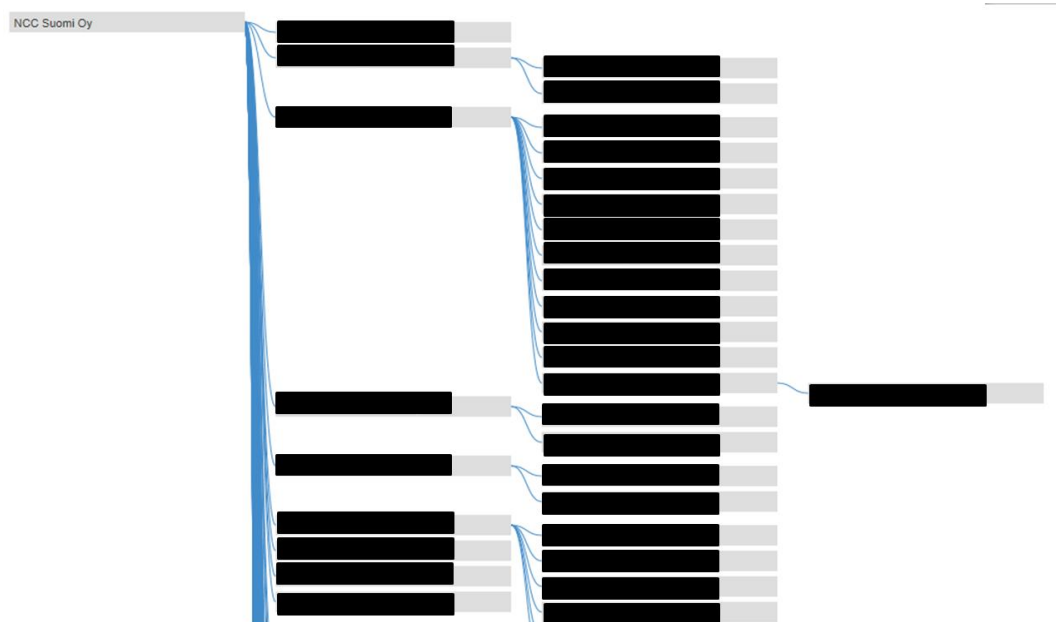
Oikeassa yläkulmassa olevasta valikosta voidaan säädellä, millä tarkkuudella järjestelmä antaa tietoja: päivä, viikko, kuukausi tai koko tarkastelujakso. Jos esimerkiksi valitaan tarkastelujaksoksi kuukausi ja tarkkuudeksi päivä, antaa järjestelmä päivittäiset tunnit koko kuukauden ajalta. Mitä suurempaa jaksoa tarkastellaan, sitä suuremmaksi kannattaa tietojen tarkkuuskin laittaa.

Kuva 12 esittää verkkopohjaisen raporttimuodon. Raportti jaottelee tunnit aina yrityksittäin sekä työntekijöittäin. Vasemmassa reunassa kerrotaan yritykset ja keskellä työntekijät. Kuvassa punaisella ympyröity luku ilmaisee yrityksen kaikkien työntekijöiden kokonaistunnit tarkastelujaksolta. Sinisellä ympyröity luku ilmaisee kaikkien yritysten tunnit tarkastelujaksolta. Luvut, joita ei ole ympyröity, ilmaisevat yksittäisten työntekijöiden tunteja.

Yritys	Yrityksen Tunnus	Tili ID	Syyskuu
			15.00
			15.00
			135.00
			135.00
			33.06
			33.06
			1.45
			1.45
			16.37
			0:31:55
			32.32
			23.44
			8.02
			81.29
			266:21

Kuva 12. Verkkopohjainen raportti yhdeltä kuukaudelta RamiSmartista. Lähde: RamiSmart -portaali

Raportit voi halutessaan tallentaa pdf- tai xlsx-muodossa. Tutkimuksessa käytettiin kahta raportointimuotoa. Kuukausittaista tarkastelujaksoa, jossa näkyi kaikkien urakoitsijoiden tunnit ja raportointimuotoa, jossa tarkastelunjaksona toimi koko rakentamisaika sekä tuntikertymää tarkasteltiin urakoitsijoittain.



Kuva 13. Esimerkki työnantajapuun ulkomuodosta. Lähde: RamiSmart-portaali

RamiSmart muodostaa myös työmaakohtaisen työnantajapuun. Työnantajapuu ilmaisee sopimussuhteet urakoitsijoiden välillä. Kuvassa 13 on esimerkki työnantajapuun ulkomuodosta. Kuvassa ei näy kyseisen työmaan työnantajapuu kokonaan, sillä urakoitsijoiden määrä on liian suuri.

Työnantajapuun vasemmassa yläkulmassa on aina kohteen pääurakoitsija. Vasemmalta katsottuna toisessa sarakkeessa näkyvät yritykset ovat aliurakoitsijoita, jotka ovat suorassa sopimussuhteessa pääurakoitsijan kanssa. Samassa sarakkeessa on myös rakennuttaja/tilaajayritys. Vasemmalta katsottuna kolmannessa sarakkeessa ovat aliurakoitsijoiden aliurakoitsijat sekä mahdolliset tilaajan sivu-urakoitsijat ja konsultit.

Oikeanpuolimmaisessa sarakkeessa on vielä pidemmälle ketjutetut urakoitsijat sekä mahdollisten sivu-urakoitsijoiden aliurakoitsijat. Yritysten välissä esiintyvät siniset viivat kuvaavat yritysten välisiä sopimussuhteita. Työnantajapuusta näkee siis nopeasti, ket-

kä ovat sopimussuhteessa toistensa kanssa. Työnantajapuuta hyödynnettiin, kun toteutuneita tunteja laskettiin urakoitsijoittain.

### 3.2.2 ESTImodelilla tehdyt laskelmat

ESTImodel on NCC:ssä kehitetty luonnosvaiheen arviointimenetelmä. Se muistuttaa tilapohjaisena periaatteeltaan tavoitehintamenetelmää, mutta on sitä läpinäkyvämpi. Tuloksena on peittävä Talo-80-nimikkeistön mukainen suoritearvio. Arviossa on mukana työmenekit kaikilla suoritteilla. Niinpä RamiSmartista saatavaa empiiristä tietoa voidaan verrata ESTImodelin mukaiseen kokonaistyömenekkiin sekä kokonaisuutena, että kustannuserittäin.

Hankekehityksessä ESTImodelilla tehdään ensin numeerinen malli, jonka oletusarvoja korjataan tietomallista saaduilla määrillä. Suunnittelun ohjauksen tehtävänä on pitää suunnitelma ESTImodelin mukaisissa oletuksissa. Oletukset perustuvat tilarekisterin tilojen ominaisuuksiin, joita on yhdellä tilalla toista sataa. Oletuksia ovat mm. tilan korkeus, kuormitus, tuloilman määrä, sisäilmaluokka, jäähdytyskuorma, sähkötehon tarve, tilan pintarakenteet ja kalusteet.

Ensimmäinen ESTImodel tehdään vaatimusmallin perusteella, hankekohtaisia tietoja ovat vain layout-suunnitelma tontilla ja pohjaolosuhteet. Kannattavuuslaskelma tehdään ensimmäisen ESTImodelin perusteella, ja suunnittelua jatketaan, jos kannattavuus on riittävä.

ESTImodelia ylläpidetään käynnissä olevien hankkeiden sopimushankintojen tarjousvertailuilla sekä yksittäisillä testihankkeilla. Se on siis standardikustannusarvio, jollaisia käytetään muualla teollisuudessa paljonkin. ESTImodelia käytetään kaikissa alueyksiköissä ja sitä on testattu muissa pohjoismaissa sekä Venäjällä [Liite 1].

### 3.2.3 Muu aineisto

RamiSmartin ja ESTImodelin lisäksi aineistona käytettiin NCC:n sisäisen projektiportaalin tietoja. Projektiportaaliin on dokumentoitu projektien sisäisiä dokumentteja, esimerkiksi palaverimuistiot ja aikataulut. Tutkimuksessa käytettiin viikkopalavereiden ja

urakoitsijapalavereiden muistioita sekä työmaiden yhteystietoluetteloita, jotta urakoitsijat saatiin jaettua oikeisiin rakentamisvaiheisiin.

Projektiportaalissa on myös projektiraportti-kohta, johon on dokumentoitu muun muassa jo valmistuneiden hankkeiden alkamis- ja valmistumispäivämääriä. Tätä käytettiin valmistuneiden projektien rakennusaikojen selvittämiseen [Liite 1].

### 3.3 Tehdyt mittaukset

#### 3.3.1 Kokonaistyötunnit sekä kokonaistyömenekki

Empiiristä tietoa toteutuneesta tuntikertymästä etsittiin RamiSmartista. Raportointimuotona käytettiin kuukausittaisia tunteja kaikista urakoitsijoista sekä tunteja urakoitsijoittain koko työmaan ajalta. Kokonaistyötunneista puhuttaessa tarkoitetaan vain työntekijöiden sekä aliurakoitsijan työnjohtajien tunteja.

Ensimmäisessä mittauksessa laskettiin hankkeittain niiden kokonaistyötunnit ja kokonaistyömenekki. Tarkastelujaksoksi valittiin kuukausi alkaen maanrakennusvaiheesta, tarkkuudeksi koko tarkastelujakso, eikä yrityskohtaisia rajoituksia laitettu. Kuukauden tarkastelujakso valittiin sen vuoksi, että se vähensi seuraavan mittauksen työtä. Tunnit kirjattiin Excel-taulukkoon kuukausittain. Tuntikertymän kerääminen lopetettiin luovutuspäivään, joten luovutuksen jälkeisiä töitä ei ole otettu huomioon. Laskemalla jokaisen kuukauden tunnit yhteen saatiin hankkeen kokonaistyötunnit, tth (kuva 14).

Kun kokonaistyötunnit olivat tiedossa, laskettiin hankkeen kokonaistyömenekki (tth/brm<sup>2</sup>). Kokonaistyömenekki laskettiin jakamalla kokonaistyötunnit hankkeen bruttoalalla. Esimerkiksi hanke 1:n kokonaistyömenekki laskettiin seuraavasti:

$$\text{Kokonaistyötunnit/bruttoala} = 92121 \text{ tth} / 8723 \text{ brm}^2 = 10,56 \text{ tth/brm}^2$$

#### 3.3.2 Vahvuuskäyrä sekä keskivahvuus

Toisessa mittauksessa laskettiin työmaan keskivahvuus sekä muodostettiin vahvuuskäyrä kuukauden tarkkuudella. Mittaus toteutettiin niin, että ensimmäisessä mittauksessa lasketut kuukausittaiset työntekijätunnit jaettiin kuukauden työpäivillä. Kuukau-

den työpäivät määriteltiin arkipäivien mukaan ja yhden työpäivän pituudeksi määritettiin kahdeksan tuntia. Eli jos esimerkiksi yhdessä kuukaudessa on työpäiviä 20, on työn-tunteja 160 (20pvä x 8h). Käytettävissä olevat päivät laskettiin kalenterista. Laskenta-esimerkki, kun työntekijätunteja on 2277 tth ja kuukaudessa on ollut 176 tuntia (h/kk),

$$2277 \text{ tth} / 176 \text{ h/kk} = 12,94 \text{ tt.}$$

Keskivahvuus laskettiin jakamalla kokonaistytötunnit käytettävissä olleiden työpäivien mukaan. (kuva 14, alin rivi) Kuvassa 14 on esimerkki tehdyistä Excel-aputaulukoista. Vasen reuna kertoo kuukauden, tth-sarake ilmaisee kyseisen kuukauden RamiSmartis-ta laskettuja kokonaistytötunteja. H/kk-sarake ilmaisee kuukauden laskennalliset työtunnit. Viimeinen tt vahvuus -sarake kuvaa kyseisen kuukauden työntekijävahvuutta.

Hanke 1 työntekijätunnit			
	TTH	h/kk	TT
Elokuu	821:33:00	160:00:00	5,13
Syyskuu	2276:37:46	176:00:00	12,94
Lokakuu	3414:39:21	184:00:00	18,56
Marraskuu	3854:00:57	160:00:00	24,09
Joulukuu	5311:54:00	160:00:00	33,20
Tammikuu	7231:14:18	160:00:00	45,20
Helmikuu	8372:27:07	160:00:00	52,33
Maaliskuu	10271:21:00	176:00:00	58,36
Huhtikuu	8354:40:28	160:00:00	52,22
Toukokuu	7620:26:13	152:00:00	50,13
Kesäkuu	8180:35:52	176:00:00	46,48
Heinäkuu	2946:55:00	184:00:00	16,02
Elokuu	6331:30:46	168:00:00	37,69
Syyskuu	7505:13:00	176:00:00	42,64
Lokakuu	6760:20:00	176:00:00	38,41
Marraskuu	2867:52:00	160:00:00	17,92
<b>Yhteensä</b>	<b>92121:20:48</b>	<b>2688:00:00</b>	<b>34,27</b>

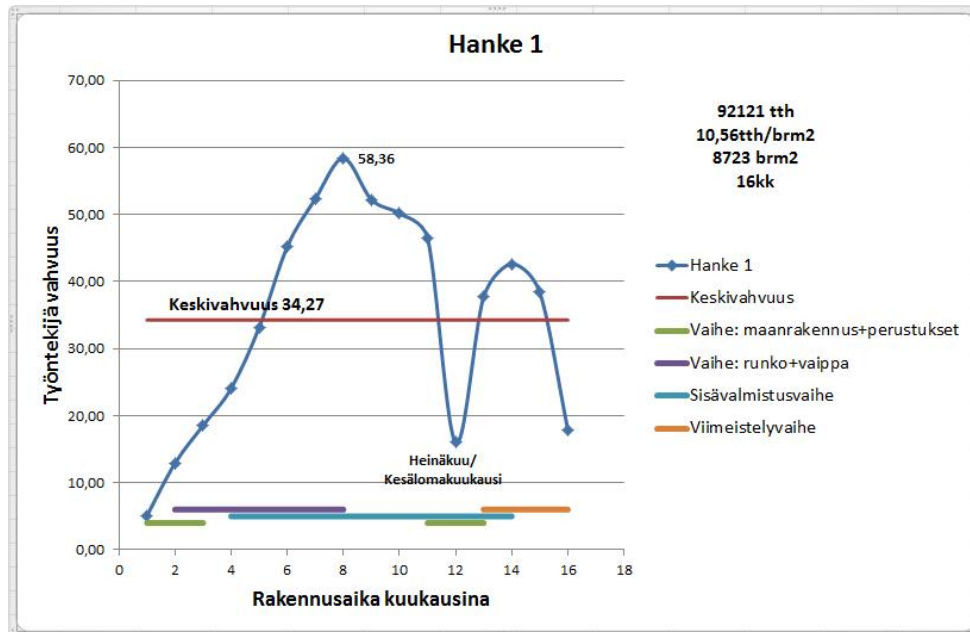
Kuva 14. Hanke 1. Työntekijätunnit.

Kun kuukausittaiset keskivahvuudet oli laskettu, siirryttiin muodostamaan vahvuuskäyriä. Vahvuuskäyräkaaviossa (kuva 15) x-akseli kuvaa rakennusaikaa kuukausittain maanrakennuksen aloituksesta luovutuspäivään. Y-akselilla esitetään edellisessä mitauksessa lasketut kuukausittaiset työntekijävahvuudet. Sininen viiva kuvaa kuukausit-



taista työntekijävahvuuden vaihtelua, punaisella kuvataan koko hankkeen keskivahvuutta.

Kaavion alareunassa olevat eriväriset viivat kertovat, mikä rakennusvaihe on ollut käynnissä. Vihreä väri kuvaa maanrakennus- ja perustusvaihetta, violetti kuvaa runkoa ja vaipan ummistusta, vaaleansininen kuvaa sisävalmistusvaihetta ja oranssi viimeistelyvaihetta.



Kuva 15. Hanke 1. Vahvuuskäyrä.

### 3.3.3 Rakentamisvaiheittainen jaottelu

Kolmannessa mittauksessa toteutuneita työntekijätunteja jaoteltiin eri rakennusvaiheisiin. Jotta aliurakoitsijoiden ja heidän aliurakoitsijoidensa työtunnit saatiin eroteltua, rakentamisvaiheittaisen jaottelun perusteina käytettiin viikkopalaveri- ja urakoitsijapalaverimuistioita sekä RamiSmartin työnantajapuuta. Rakentamisvaiheet jaettiin seuraavasti: Maanrakennus→ vaippa ummessa, sisäpuolen työt, talotekniikka, ulkopuolen pinnat, pihatyt ja rakenteet sekä työmaan käyttö- ja yhteiskustannuksiin liittyvät työt.

Maanrakennus→ vaippa ummessa sisältää kaikki maanrakennukseen, runkoon ja vaipan ummistamiseen liittyvät työt. Sisäpuolen työt kattaa kaikki muut sisäpuolella tehtävät työt paitsi talotekniikan. Ulkopuolen pinnat sisältää esimerkiksi rappaus ja levytys-

töitä sekä pellitykset. Pihatytöt ja rakenteet sisältävät esimerkiksi asfaltointi ja kivetystöitä. Työmaan käyttö- ja yhteiskustannuksiin liittyvät työt sisältävät esimerkiksi siivous- ja raivaustyöt, vuokratyövoiman, kurottajat ja nosturit yms.

Rakentamisvaiheittain jaottelu tehtiin ESTImodelin jaottelun perusteella. Rakentamisvaiheita yhdisteltiin vielä suuremmiksi, jotta tuntikertymän jaottelua voidaan pitää mahdollisimman luotettavana ja tarkkana. Hankkeen aikana yksi urakoitsija saattaa tehdä usean eri vaiheen töitä. Runkourakoitsija saattaa tehdä myös perustukset ja usein väli-seiniä tekevä urakoitsija tekee myös alakatot.

Hanke 1	Kokonaistyötunnit, tth			Kokonaistyömenekki, tth/brm2	
	Toteuma	ESTImodel	Ero, %	Toteuma	Estimodel
Maanrakennus --> vaippa ummessa	19798	25797	-23 %	2,27	2,96
Sisäpuoli	27018	22287	21 %	3,10	2,55
Talotekniikka	23616	17164	38 %	2,71	1,97
Ulkopuolen pinnat	3027	2822	7 %	0,35	0,32
Pihatytöt ja rakenteet	560	486	15 %	0,06	0,06
Työmaan käyttö- ja yhteiskustannukset	14734	8001	84 %	1,69	0,92
Korkeuden vaikutus		3329			0,38
Yhteensä	88753				
Kokonaistyötunnit	92121	79886	15 %	10,56	9,16
Kohdistamattomien tuntien osuus	3,7 %				

Kuva 16. Esimerkki Hanke 1. Toteutuneiden ja laskennallisten tuntien vertailusta rakentamisvaiheittain.

Kuvassa 16 esitetään toteutunutta tuntikertymää rakentamisvaiheittain sekä näiden vertailua laskennalliseen tietoon. Toteutuneita työntekijätunteja on verrattu laskennallisiin ESTImodel-laskelmiin. Erotuskohdassa olevat prosentit ilmaisevat prosentuaalisen eron toteutuneen ja laskennallisen tiedon välillä. Jos toteutuneet tunnit ovat olleet pienemmät kuin laskennalliset tunnit, on prosenttiluku punainen. Jos toteutuneet tunnit ovat suuremmat kuin laskennallinen, on prosenttiluku musta. Tarkasteltavissa hankkeissa on aina ali- ja sivu-urakoitsijoiden lisäksi työskennellyt NCC:n omia työntekijöitä, noin 5-10 % kaikista tunneista tulee NCC:n omilta työntekijöiltä. Nämä tunnit on kohdistettu eri rakentamisvaiheille, talotekniikkaa lukuun ottamatta.

Kohdistamattomien tuntien osuus kuvaa, kuinka monta työntekijätuntia on prosentuaalisesti jäänyt kohdistamatta rakentamisvaiheille. Kohdistamattomat tunnit johtuvat pääosin siitä, että työnantajapuuta ei ole täytetty huolellisesti eikä aliurakoitsijoiden aliurakoitsijoita ole ketjutettu oikein. Tällöin tunteja kohdistettaessa näiden urakoitsijoiden tuntikertymää ei pysty kohdistamaan, koska ei tiedetä mitä työvaihetta kyseinen urakoitsija on työmaalla tehnyt. Osittain syynä on myös se, että yhteystietoluettelosta ei näy kaikkia urakoitsijoita eikä heidän työlajejaan. Ohjausryhmän kanssa asiaa mietittyämme tulimme lopputulokseen, että hyväksyttävä virheprosentti on 10 %, tällöin tuloksia voidaan pitää vielä luotettavina.

### 3.4 Talotekniikka

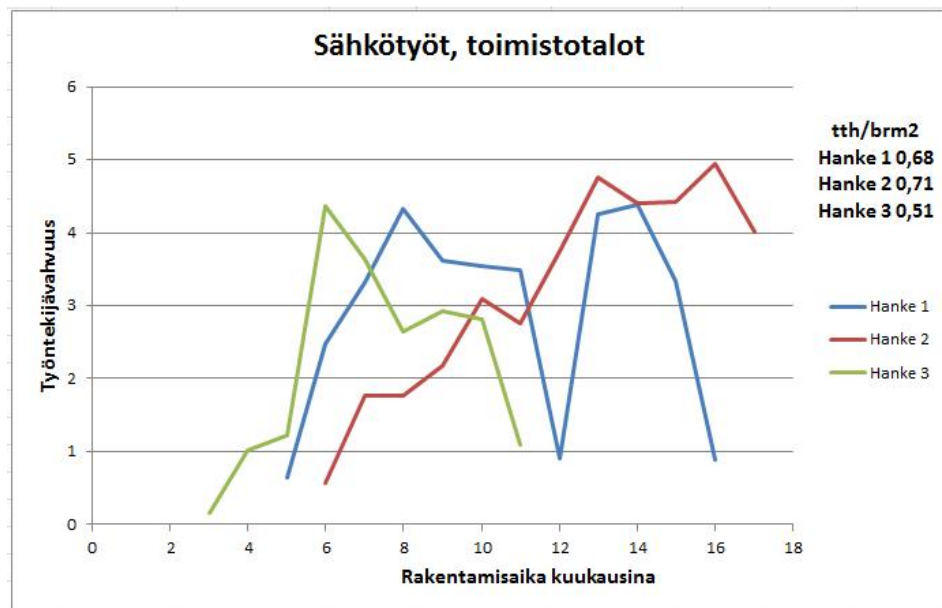
<b>Hanke 1</b>		<b>Sähkötyöt</b>		
Kuukausi	h/kk	TTH	Vahvuus	tth/brm2
Elokuu				
Syyskuu				
Lokakuu				
Marraskuu				
Joulukuu	160	103	0,64	
Tammikuu	160	395	2,47	
Helmi	160	530	3,31	
Maaliskuu	176	762	4,33	
Huhtikuu	160	579	3,62	
Toukokuu	152	538	3,54	
Kesäkuu	176	614	3,49	
Heinäkuu	184	167	0,91	
Elokuu	168	715	4,26	
Syyskuu	176	771	4,38	
Lokakuu	176	587	3,34	
Marraskuu	160	143	0,89	
	<b>2008</b>	<b>5904</b>	<b>2,94</b>	<b>0,68</b>

Kuva 17. Hanke 1. Sähkötyöt.

Viimeisessä mittauksessa laskettiin ja jaoteltiin talotekniikkaurakoitsijoiden tunnit kuukausittain. Tässä mittauksessa käytettiin samoja menetelmiä kuin ensimmäisessä ja toisessa mittauksessa. Tunnit jaoteltiin talotekniikkaurakoitsijoittain. Kuvassa 17 on esimerkki sähkötöistä. Kun talotekniikkaurakoitsijat aloittavat työt, on työmaa usein ollut käynnissä jo useita kuukausia. Vahvuutta laskettaessa talotekniikkaurakoitsijoiden aloituskuukauden laskennalliset kuukauden työtunnit (h/kk) on laskettu päivästä, jona he ovat aloittaneet työt. Jos kuukaudessa on esimerkiksi 20 päivää, ensimmäinen päivä

on maanantai ja urakoitsija aloittaa työt kuun kolmas päivä keskiviikkona, niin laskennallisia työpäiviä on 18.

Talotekniikan osalta muodostettiin myös vahvuuskäyrät. Vahvuuskäyrä osoittaa kuukausittaisen vahvuuden, tässä tapauksessa toimistotalojen sähkötöiden osalta. (Kuva 18) Rakentamisaika alkaa kaaviossa maanrakennustöiden aloituksesta, joten kaavio kuvaa vahvuuden lisäksi myös sen, missä vaiheessa hanketta urakoitsija on aloittanut työt. Vertailun vuoksi talotekniikkaurakoitsijoiden vahvuuskäyrät laitettiin samaan kaavioon, hanketyypeittäin.



Kuva 18. Vahvuuskäyrä toimistotalojen sähkötöistä.

Kuvaa tarkastellessa täytyy huomioda, että hankkeet ovat rakennusajaltaan erimittaisia. X-akselilla kuvataan rakennusaikaa kuukausina ja y-akselilla työntekijävahvuutta. Oikeassa yläkulmassa kerrotaan työmenekki, joka kuvaa töiden haasteellisuutta.

## 4 Tulokset

### 4.1 Empiirisen ja laskennallisen tiedon vertailu

Kokonaistyötunnit ja -menekit koostuvat rakentamisvaiheittaisista tunneista ja menekeistä, joten niitä käsitellään tulokset-osiossa kokonaisuutena. Rakennusajasta puhuttaessa laskennallisella ajalla tarkoitetaan ESTImodel-laskelmien rakennusaikaa. Sillä ei siis tarkoiteta yleisaikataulun mukaista rakennusaikaa. Hankkeista 5 ja 6 ei ole tehty ESTImodel -laskelmia, joten näistä ei voi vertailua tehdä.

#### 4.1.1 Toimistotalot

Toimistotaloja tarkasteltiin kolmen hankkeen osalta. Hankkeet 1 ja 2 olivat samankaltaisia kahdeksankerroksisia toimistoja. Hanke 1 oli bruttolaaajuudeltaan 8723 brm<sup>2</sup> ja hanke 2 oli laajuudeltaan 9056 brm<sup>2</sup>. Hanke 3 oli laajuudeltaan pienempi (6422 brm<sup>2</sup>) ja erosi myös sillä tavalla, että siihen ei kuulunut maanrakennus- ja perustustöitä. Nämä työt tehtiin edellisessä vaiheessa, jossa rakennettiin viereinen toimistotalo sekä molempien yhteinen parkkihalli.

<b>Hanke 1</b>	Kokonaistyötunnit, tth			Kokonaistyömenekki, tth/brm <sup>2</sup>	
Rakentamisvaihe	Toteuma	ESTImodel	Ero, %	Toteuma	Estimodel
Maanrakennus --> vaippa ummessa	19798	25797	-23 %	2,27	2,96
Sisäpuoli	27018	22287	21 %	3,10	2,55
Talotekniikka	23616	17164	38 %	2,71	1,97
Ulkopuolen pinnat	3027	2822	7 %	0,35	0,32
Pihatyöt ja rakenteet	560	486	15 %	0,06	0,06
Työmaan käyttö- ja yhteiskustannukset	14734	8001	84 %	1,69	0,92
Korkeuden vaikutus		3329			0,38
Yhteensä	88753				
Kokonaistyötunnit	92121	79886	15 %	10,56	9,16
Kohdistamattomien tuntien osuus	3,7 %				

Kuva 19. Hanke 1. Laskennallisten ja toteutuneiden tuntien vertailu.

Hankkeessa 1 laskennallisten ja toteutuneiden tuntien ero kokonaistyötuntien kohdalla oli melko suuri. Toteutuneita tunteja oli 15 % enemmän kuin laskennallisia. Suurimmat

erot rakentamisvaiheissa syntyivät työmaan käyttö- ja yhteiskustannuksiin liittyvissä töissä sekä talotekniikka töissä. Talotekniikkaan käytettiin 38 % enemmän työntekijätunteja kuin oli laskennallisesti arvioitu. Käyttö- ja yhteiskustannuksiin liittyviin töihin kului yli 80 % enemmän tunteja. Maanrakennus → vaippa ummassa -vaiheessa oli taas 23% vähemmän tunteja, mikä tasoitti kokonaisuuden eroa. ESTImodel-laskelman laskennallinen rakennusaika hankkeelle oli 13,7 kk ja toteutunut rakennusaika 16 kk, eli 2,3 kk (16 %) pidempi kuin laskennallinen. Laskennallista pidempi rakennusaika johtuu siitä, että toteutunut kokonaistyömenekki oli 15 % suurempi kuin laskennallinen.

Hanke 2	Kokonaistyötunnit, tth			Kokonaistyömenekki, tth/brm2	
	Toteuma	ESTImodel	Ero, %	Toteuma	Estimodel
Rakentamisvaihe					
Maanrakennus --> vaippa ummassa	31611	26816	18 %	3,49	2,98
Sisäpuoli	26322	20434	29 %	2,91	2,27
Talotekniikka	23081	19831	16 %	2,55	2,19
Ulkopuolen pinnat	1955	4107	-52 %	0,22	0,45
Pihatyöt ja rakenteet	679	383	77 %	0,07	0,04
Työmaan käyttö- ja yhteiskustannukset	16956	8905	90 %	1,87	0,98
Korkeuden vaikutus		3208			
Yhteensä	100604				
Kokonaistyötunnit	101456	83684	21 %	11,20	9,24
Kohdistamattomien tuntien osuus	0,8 %				

Kuva 20. Hanke 2. Laskennallisten ja toteutuneiden tuntien vertailu.

Hankkeessa 2 kokonaistyötunteja kertyi yli 21 % enemmän kuin oli laskettu. Ulkopuolen pintoja lukuun ottamatta kaikissa rakentamisvaiheissa kertyi enemmän tunteja kuin oli laskennallisesti arvioitu. Työmaan käyttö- ja yhteiskustannuksiin liittyvissä töissä toteutuma ylittyi 90 % laskennalliseen verrattuna. Myös sisätyövaiheessa tunteja kertyi reilusti enemmän, noin 6000 tuntia, kuin laskennallisesti oli arvioitu. Prosentteina tämä on melkein 30 %. Kohdistamattomia tunteja jäi vain 0,8 %. Toteutunut rakennusaika oli 16,8 kuukautta laskennallisen ollessa 14,8 kk. Toteutunut rakennusaika oli siis 13 % pidempi.

Hanke 3 oli poikkeuksellinen kahdella tavalla muihin tarkasteltaviin hankkeisiin verrattuna. Hankkeeseen ei kuulunut maanrakennus- eikä perustustöitä ja toteutuneet tuntimäärät olivat pienempiä kuin oli laskennallisesti ajateltu. Suurin ero löytyy maanrakennus → vaippa ummassa -vaiheessa, johon tunteja todellisuudessa käytettiin laskennalliseen verrattuna yli 70 % vähemmän. Kokonaisuudessaan tunteja kertyi laskennalliseen verrattuna 18 % vähemmän. (Kuva 21)

Hanke 3	Kokonaistyötunnit, tth			Kokonaistyömenekki, tth/brm2	
Rakentamisvaihe	Toteuma	ESTimodel	Ero, %	Toteuma	Estimodel
Maanrakennus --> vaippa ummessa	5513	16500	-67 %	0,86	2,57
Sisäpuoli	22130	16065	38 %	3,45	2,50
Talotekniikka	13233	17192	-23 %	2,06	2,68
Ulkopuolen pinnat	2581	4099	-37 %	0,40	0,64
Pihatytöt ja rakenteet	322	603	-47 %	0,05	0,09
Työmaan käyttö- ja yhteiskustannukset	7760	6874	13 %	1,21	1,07
Korkeuden vaikutus		3252			
Yhteensä	51539				
Kokonaistyötunnit	53093	64585	-18 %	8,27	10,06
Kohdistamattomien tuntien osuus	2,9 %				

Kuva 21. Hanke 3. Laskennallisten ja toteutuneiden tuntien vertailu.

Koska tässä hankkeessa tunteja oli poikkeuksellisesti reilusti vähemmän, tarkasteltiin toteutuneita tunteja lähemmin. Kävi ilmi, että esimerkiksi elementtiasennusurakoitsijan tunteja oli kirjautunut RamiSmartiin niin vähän (n.2000 tth), että tietoa ei voi pitää luotettavana. Hankkeen toteutunut rakennusaika oli myös lyhyempi kuin laskennallinen. Toteutunut oli 10,8 kuukautta laskennallisen ollessa 14,2 kuukautta. Toteutunut rakennusaika oli näin ollen 23 % lyhyempi.

#### 4.1.2 Muut uudisrakennuskohteet

Rakennusvaiheittain tarkasteltiin kolmea muuta uudisrakennuskohdetta (hankkeet 4,5 ja 6). ESTImodel-laskelma on tehty pelkästään hankkeesta numero 4, joten laskennallista ja toteutunutta tuntitietoa ei voida vertailla muista kuin tästä hankkeesta. Hankkeista 5 ja 6 tehtiin rakentamisvaiheittainen tarkastelu tulevaisuuden vertailua varten, mikäli samankaltaisia hankkeita tulee esimerkiksi tarjouslaskentaan.

Hanke 4 oli haastaviin pohjaolosuhteisiin rakennettu osittain kaksikerroksinen liikekeskus, bruttolaaajuudeltaan 5500 m<sup>2</sup>. Hanke 5 oli kolmekerroksinen koulu, bruttolaaajuudeltaan 7900 m<sup>2</sup>. Hanke 6 oli teollisuushallin sisään rakennettu konesali, bruttolaaajuudeltaan noin 5500 m<sup>2</sup>. Hankkeeseen sisältyi myös purkutöitä.

<b>Hanke 4</b>	Kokonaistyötunnit, tth			Kokonaistyömenekki, tth/brm2	
Rakentamisvaihe	Toteuma	Estimodel	Ero, %	Toteuma	Estimodel
Maanrakennus --> vaippa ummessa	31 554	28 880	9 %	5,71	5,23
Sisäpuoli	15 655	18 758	-17 %	2,83	3,40
Talotekniikka	21 856	14 478	51 %	3,96	2,62
Ulkopuolen pinnat	3 473	3 137	11 %	0,63	0,57
Pihatytöt ja rakenteet	1 008	886	14 %	0,18	0,16
Työmaan käyttö- ja yhteiskustannukset	10 319	7 907	31 %	1,87	1,43
Korkeuden vaikutus		494			0,09
Yhteensä	83 865				
Kokonaistunnit	86 928	74 540	17 %	15,74	13,50
Kohdistamattomien tuntien osuus	3,5 %				

Kuva 22. Hanke 4. Laskennallisten ja toteutuneiden tuntien vertailu.

Hankkeessa 4 työntekijätunteja jäi kohdistamatta 3,5 %. Toteutuneita tunteja kertyi laskennalliseen verrattuna 17 % enemmän. Suurin vaikutus tähän oli talotekniikatöillä, joissa tunteja kertyi yli 50 % enemmän laskennalliseen verrattuna. Hankkeen laskennallinen rakennusaika oli 13,3 kuukautta, toteutuneen ollessa 15 kuukautta. Prosentuaalinen ero oli näin ollen 13 %. Myös tässä hankkeessa käyttö- ja yhteiskustannuksiin liittyvissä töissä kertyi reilusti enemmän työntekijätunteja, kuin oli laskennallisesti ajateltu.

<b>Hanke 5</b>	Kokonaistyötunnit, tth	Kokonaistyömenekki, tth/brm2
Rakentamisvaihe	Toteuma	Toteuma
Maanrakennus --> vaippa ummessa	61740	7,78
Sisäpuoli	33731	4,25
Talotekniikka	18310	2,31
Ulkopuolen pinnat	8890	1,12
Pihatytöt ja rakenteet	5252	0,66
Työmaan käyttö- ja yhteiskustannukset	21568	2,72
Yhteensä	149491	
Kokonaistyötunnit	155942	19,65
Virheprosentti	4,1 %	

Kuva 23. Hanke 5. Toteutuneet tunnrit.

Hankkeessa 5 kohdistamattomia työntekijätunteja jäi 4,1 %. Hankkeen runkotyöt sisälsivät sekä paikallavalmu että elementtiasennusta. Runko oli muutenkin erittäin moni-



muotoinen, mikä näkyy suurena työmenekkiä maanrakennus → vaippa ummessa -vaiheessa (7,78 tth/brm<sup>2</sup>). Myös sisäpuolen töiden sekä käyttö- ja yhteiskustannuksiin liittyvissä töissä työmenekki oli selvästi aikaisemmin esiteltäviä hankkeita suurempi. Hankkeen 5 toteutunut rakennusaika oli 16,9 kuukautta.

<b>Hanke 6</b>	Kokonaistyötunnit, tth	Kokonaistyömenekki, tth/brm2
Rakentamisolue	Toteuma	Toteuma
Maanrakennus --> vaippa ummessa	41306	7,51
Sisäpuoli	8633	1,57
Talotekniikka	22938	4,17
Pihatyöt- ja rakenteet	188	0,03
Työmaan käyttö- ja yhteiskustannukset	6674	1,21
Yhteensä	79739	
Kokonaistyötunnit	83367	15,16
Virheprosentti	4,4 %	

Kuva 24. Hanke 6. Toteutuneet tunnit.

Myös hankkeessa 6 maanrakennus → vaippa ummessa -vaiheen työmenekki on suuri, jos verrataan aikaisempiin hankkeisiin. Tämä selittyy osin sillä, että tähän vaiheeseen kuului myös purkutöitä, joita uudiskohteissa ei kovin usein ole. Hankkeen 6 toteutunut rakennusaika oli 15 kuukautta. Hanke 6 oli bruttoalaltaan ja kokonaistyömenekiltään hyvin samankaltainen kuin hanke 4, vaikka rakennukset itsessään olivat todella erilaiset.

#### 4.1.3 Korjauskohteet

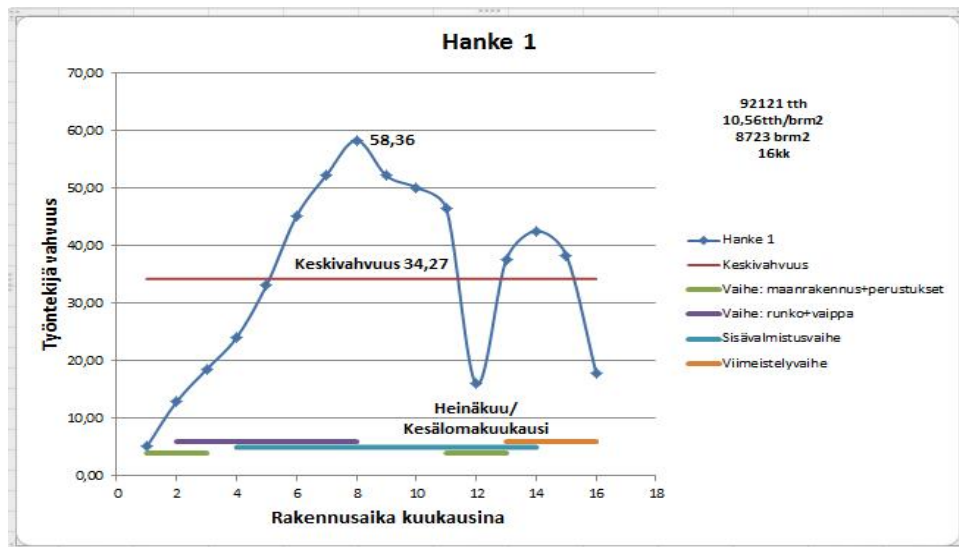
Korjauskohteita oli tarkastelussa kaksi, hankkeet 7 ja 8. Hankkeessa 7 saneerattiin erään yrityksen pääkonttorin kolme eri osaa, bruttolaaajuudeltaan hanke oli noin 6000 m<sup>2</sup>. Hanke 8 sisältää peruskorjausta sekä laajennusosan, bruttolaaajuudeltaan hanke oli noin 9000 m<sup>2</sup>. Hankkeessa 8 jäi kohdistamattomia tunteja yli 15 %, joten rakentamisvaiheitaista jaottelua ei voi pitää luotettavana.

Hanke 7	Kokonaistyötunnit, tth			Kokonaistyömenekki, tth/brm2	
	Toteuma	ESTimodel	Ero, %	Toteuma	Estimodel
Maanrakennus --> vaippa ummessa	24959	15826	58 %	4,20	2,66
Sisäpuoli	17751	23691	-25 %	2,99	3,99
Talotekniikka	16924	16336	4 %	2,85	2,75
Ulkopuolen pinnat	4754	3106	53 %	0,80	0,52
Pihatytöt ja rakenteet	162	191	-15 %	0,03	0,03
Työmaan käyttö- ja yhteiskustannukset	13443	7751	73 %	2,26	1,30
Korkeuden vaikutus		920			0,15
Yhteensä	77993				
Kokonaistyötunnit	78375	67821	16 %	13,19	11,42
Virheprosentti	0,5 %				

Kuva 25. Hanke 7. Laskennallisten ja toteutuneiden tuntien vertailu.

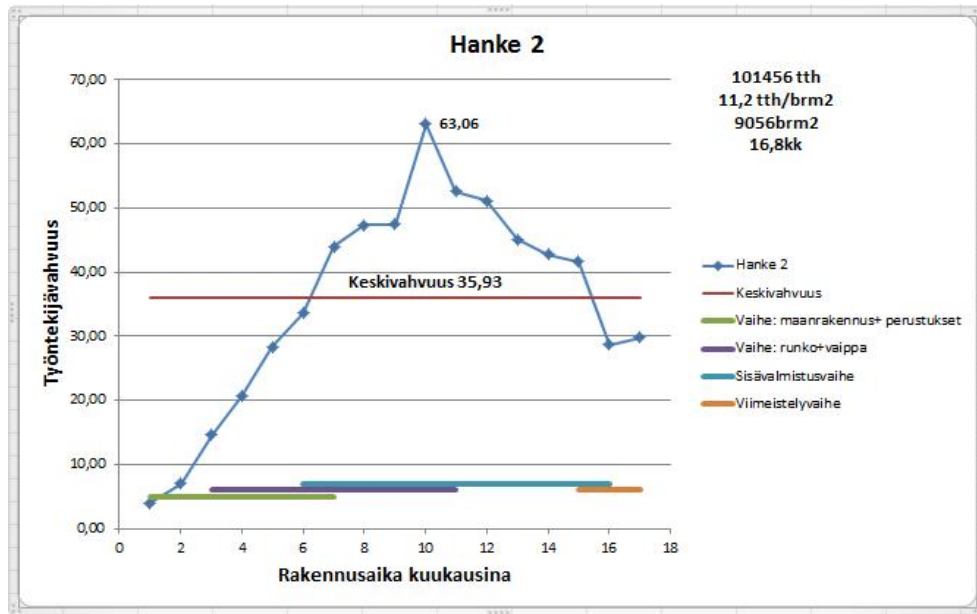
Hankkeessa 7 (kuva 25) kohdistamattomia tunteja jäi vain 0,5 %. Kokonaistyötunteja kertyi jälleen laskennalliseen verrattuna enemmän, 16 %. Suurimmat vaihtelut olivat maanrakennus → vaippa ummessa, ulkopuolen pinnoissa (53 % enemmän) sekä työmaan käyttö- ja yhteiskustannuksiin liittyvissä töissä (73 % enemmän). Sisäpuolen työt sekä pihatytöt ja rakenteet olivat ainoat työvaiheet, joissa tunteja kertyi vähemmän kuin laskennallisesti oli ajateltu.

## 4.2 Vahvuus



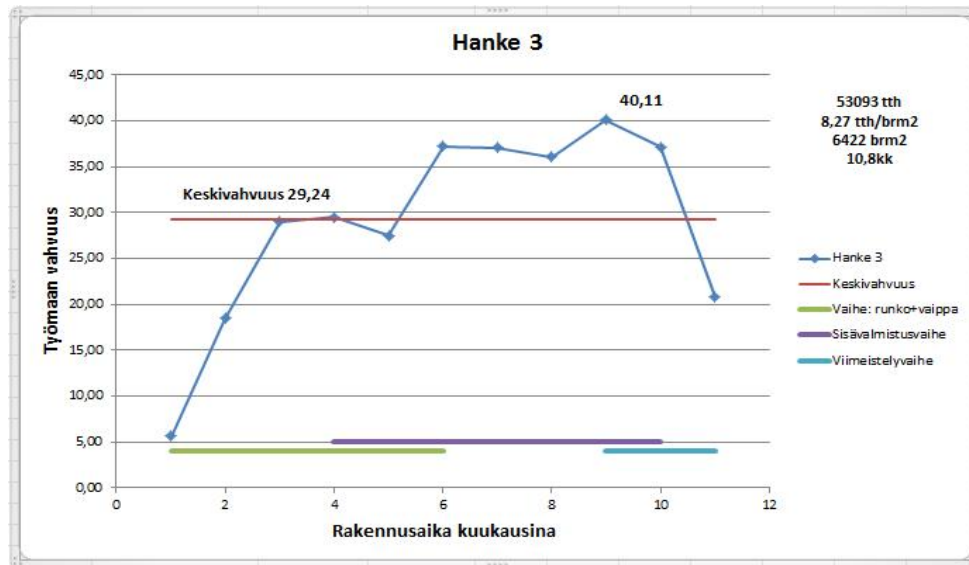
Kuva 26. Hanke 1. Vahvuuskäyrä.

Vahvuuden ollessa korkeimmillaan olivat runko- ja vaippatyöt juuri valmistumassa ja sisätyövaihe alkamassa. Heinäkuussa pidetyn kesäloman aikana vahvuus on selvästi alhaisempi kuin edeltävänä ja seuraavana kuukautena. Lomien pitäminen viittaa siihen, että rakentamisaika oli riittävä, ellei jopa turha väljä, koska kesälomia oli vara pitää. Laskennallinen keskivahvuus oli 34,7 työntekijää, toteutuneen ollessa 34,3, joten ero on todella pieni. Korkeimman vahvuuden suhde keskivahvuuteen oli 1,7.



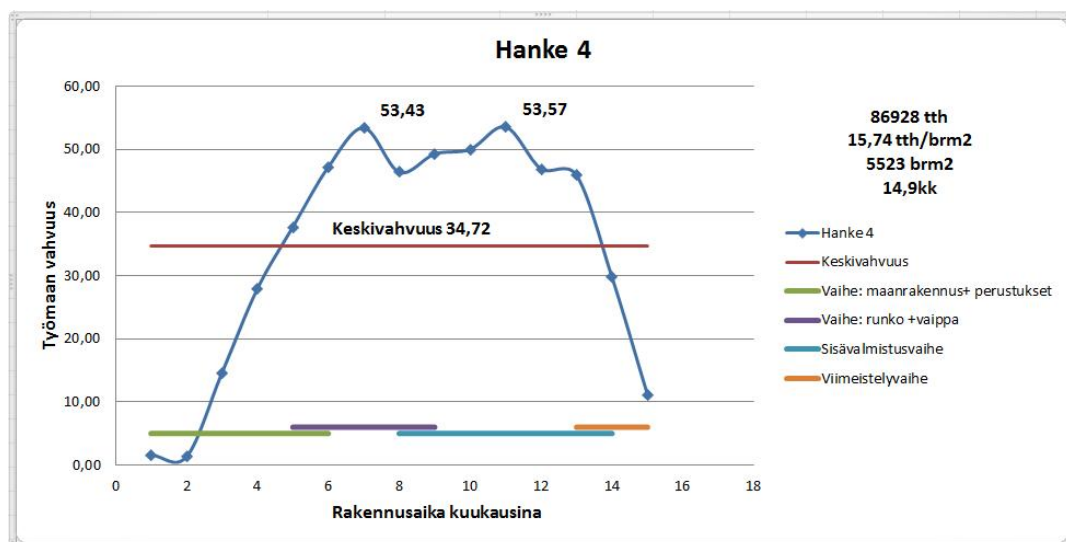
Kuva 27. Hanke 2. Vahvuuskäyrä.

Korkein vahvuus on runko- ja vaippatöiden loppumisen kohdalla, sisätyövaiheiden ollessa jo käynnissä. Tämän jälkeen vahvuus on laskenut tasaisesti, joten tämän perusteella voi sanoa, että rakennusaika on ollut riittävä. Toteutunut keskivahvuus oli hankkeessa 2,3 työntekijää suurempi kuin laskennallinen.



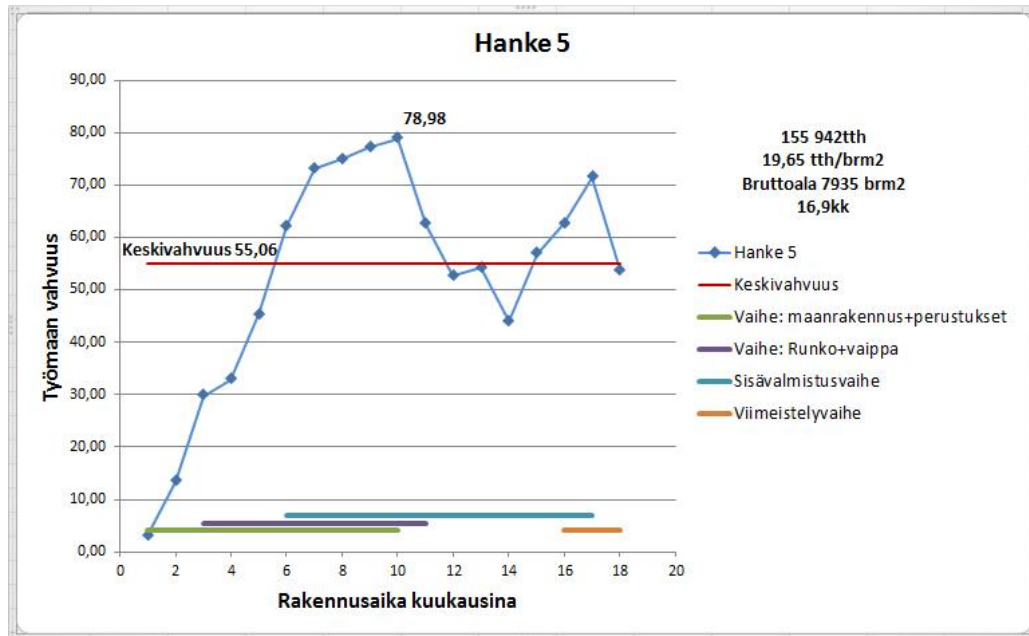
Kuva 28. Hanke 3. Vahvuuskäyrä.

Toteumatuntien vertailussa laskennalliseen hanke poikkesi muista siten, että toteutuneet tunnit olivat pienemmät kuin laskennallisesti oli ajateltu. Lähemmässä tarkastelussa kävi ilmi, että esimerkiksi elementtiasentajien kaikkia tunteja ei ollut kirjautunut RamiSmartiin, joten vahvuuskäyrää ei voi myöskään pitää luotettavana. Tuntien puuttuminen näkyy myös vahvuuskäyrässä siten, että korkein vahvuus ei ole runko- ja vaippatöiden loppumisen kohdalla, kuten hankkeissa 1 ja 2 oli.



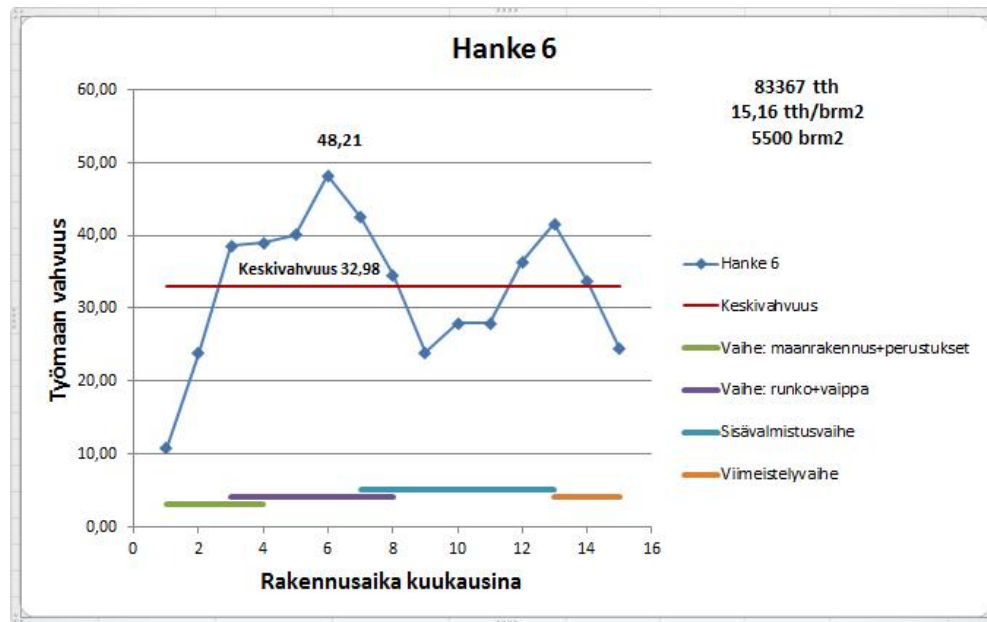
Kuva 29. Hanke 4. Vahvuuskäyrä.

Vahvuuskäyrä nousee alussa tasaisesti ja lopussa laskee tasaisesti pysytellen keskivaiheilla hyvin tasaisesti ylhäällä. Runko- ja vaippavaiheen lopun lisäksi vahvuus on ollut korkealla myös keskellä sisävalmistusvaihetta. Tämä viittaisi siihen, että joko uusia työvaiheita on aloitettu useita samaan aikaan tai aikataulua on kurottu kiinni. Toteutunut rakennusaika oli laskennallista 13 % pidempi, mutta keskivahvuus oli laskennallista 1,5 työntekijää suurempi. Korkein vahvuus oli 1,5-kertainen keskivahvuuteen verrattuna.



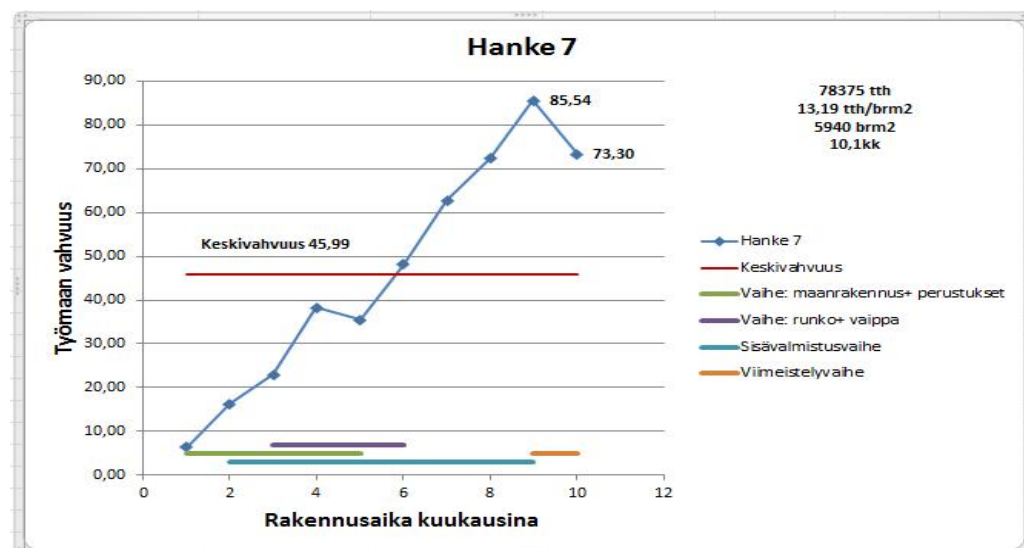
Kuva 30. Hanke 5. Vahvuuskäyrä.

Myös tämän hankkeen kohdalla korkein vahvuus esiintyy runko- ja vaippatöiden loppupuolella. Sen jälkeen vahvuus on lähtenyt jyrkkään laskuun, mutta nousee loppua kohti todella korkealle. Vahvuuspiikki hankkeen loppupuolella on selvä merkki lopun kiireestä. Korkein vahvuus on 1,4-kertainen keskivahvuuteen verrattuna.



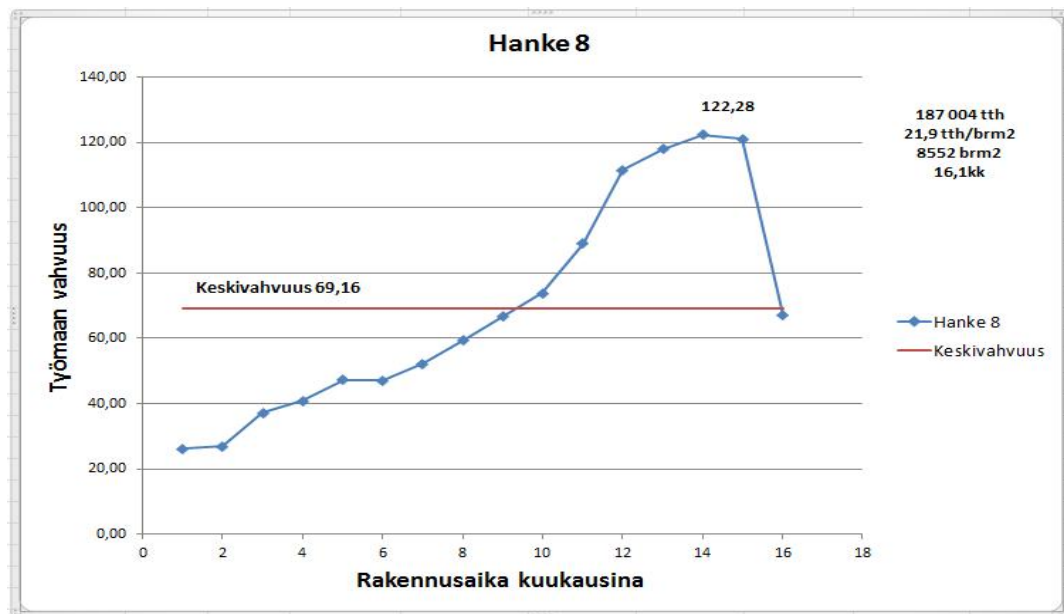
Kuva 31. Hanke 6. Vahvuuskäyrä.

Vahvuus lähtee alusta alkaen jyrkkään nousuun ja pysyy korkealla runko- ja vaippatöiden ajan. Sisävalmistustöiden alkaessa vahvuus on melko alhainen, mutta nousee koko sisävalmistustöiden ajan ylöspäin. Sisävalmistustyöt ovat siis kunnolla aloitettu vasta, kun koko runko on valmis. Korkein vahvuus oli 1,5-kertainen keskivahvuuteen nähden.



Kuva 32. Hanke 7. Vahvuuskäyrä.

Vahvuuskäyrä havainnollistaa hyvin, miten käy, jos aikataulu on liian kireä. Vahvuus on yhtä pientä notkahdusta lukuun ottamatta kasvanut koko hankkeen ajan. Vahvuus on vielä viimeisenä kuukautenakin yli 1,6-kertainen keskivahvuuteen nähden. Tässä hankkeessa toteutunut rakennusaika oli 23 % lyhempi kuin laskennallinen aika. Toteutunut kokonaistyömenekki oli 16 % suurempi kuin laskennallinen. Keskivahvuus oli laskennallisesti 31 työntekijää, eli 15 työntekijää vähemmän kuin toteutunut tarve.



Kuva 33. Hanke 8. Vahvuuskäyrä.

Tässä korjauskohteessa ei selkeästi pystynyt jakamaan rakennusaikaa eri rakentamisvaiheisiin, koska samoja töitä tehtiin monessa eri paikassa eri aikoihin. Vahvuuskäyrästä käy, samalla tavalla kuin edellisessä hankkeessa, hyvin ilmi, mitä tapahtuu, kun aikataulu on kireä ja suunnitelmat ovat puutteelliset. Vahvuus nousee ylöspäin koko hankkeen ajan, ja vahvuus on loppukuukausina yli 120 eli noin 1,8-kertainen keskivahvuuteen nähden.

#### 4.3 Talotekniikka

Talotekniikkatöiden tarkempi tarkastelu ei kuulunut alkuperäiseen tutkimussuunnitelmaan. Rakentamisvaiheittaisessa tarkastelussa kävi kuitenkin ilmi, että useissa hankkeissa talotekniikkatöissä oli laskennallisesti vähemmän tunteja kuin toteutuneet tunnit

todellisuudessa olivat. Tunteja tarkasteltiin sähkö-, LVV-, IV- sekä sprinkleritöiden osalta. Useissa hankkeissa samalle urakoitsijalle kuuluivat esimerkiksi LVV- ja IV-työt, joten näitä tarkasteltiin niiltä osin yhtenä kokonaisuutena. Hankkeen 3 tietoja ei voi pitää luotettavana talotekniikan tarkastelussa.

Sähkötyöt	Kokonaistyötunnit, tth			Kokonaistyömenekki, tth/brm2	
	Toteuma	ESTImodel	Ero, %	Toteuma	ESTImodel
Hanke 1	5904	5195	14 %	0,68	0,60
Hanke 2	6444	6958	-7 %	0,71	0,77
Hanke 3	3269	5136	-36 %	0,51	0,80
Hanke 4	6400	4343	47 %	1,16	0,79
Hanke 5	7995			1,01	
Hanke 6	5375			0,98	
Hanke 7	4428	4610	-4 %	0,75	0,80

Kuva 34. Sähkötöiden vertailu.

Sähkötöissä työmenekki toimistotalojen osalta on pienempi kuin muiden rakennusten osalta. Muissa uudisrakennuksissa toteutunut työmenekki on noin yksi tai vähän päälle, toimistoissa työmenekki on noin 0,7 tth/brm<sup>2</sup>. Huomionarvoista on myös se, että hankkeessa 4 toteutuneita tunteja kertyi lähes 50 % enemmän.

IV+LVV-työt	Kokonaistyötunnit, tth			Kokonaistyömenekki, tth/brm2	
	Toteuma	ESTImodel	Ero, %	Toteuma	ESTImodel
Hanke 1	15181	11762	29 %	1,74	1,35
Hanke 2	15767	12677	24 %	1,74	1,41
Hanke 3	8327	10760	-23 %	1,30	1,68
<b>IV-työt</b>					
Hanke 4	4718	4264	11 %	0,85	0,77
Hanke 5	4648			0,59	
Hanke 6	1424			0,26	
Hanke 7	3728	5777	-35 %	0,63	1,01
<b>LVV-työt</b>					
Hanke 4	7572	4859	56 %	1,37	0,88
Hanke 5	3858			0,49	
Hanke 6	10424			1,9	
Hanke 7	6890	4774	44 %	1,16	0,83

Kuva 35. IV+LVV -töiden vertailu.

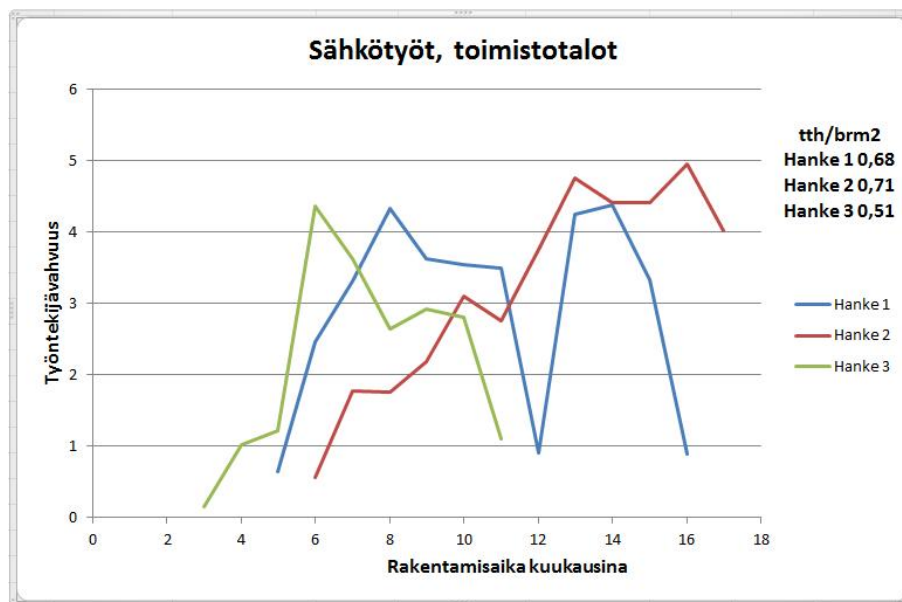


Hankkeen 4 IV-työt oli ainoa, jossa toteutunut työmenekki oli sama kuin laskennallises-  
ti. Muissa vertailtavissa työvaiheissa toteutunut työmenekki oli 11 -56 % suurempi.  
Suurin ero löytyy hankkeen 4 LVV-töistä. Toimistotöiden osalta vertailtiin IV- sekä LVV-  
töitä kokonaisuuksina. Kuten sähkötöissäkin toteutuneet työmenekit vastasivat toisi-  
aan. Hankkeen 5 pieni työmenekki putkitöiden osalta herättää epäilyksiä, sillä koulura-  
kennuksiin asennetaan paljon vesipisteitä ja altaita, millä on työmenekkiä nostattava  
vaikutus.

Sprinkleri-työt	Kokonaistyötunnit, tth			Kokonaistyömenekki, tth/brm2	
	Toteuma	ESTImodel	Ero, %	Toteuma	ESTImodel
Hanke 3	1070	1122	-5 %	0,17	0,17
Hanke 4	2036	945	115 %	0,37	0,17
Hanke 5	1809			0,23	
Hanke 7	1207	884	37 %	0,20	0,15

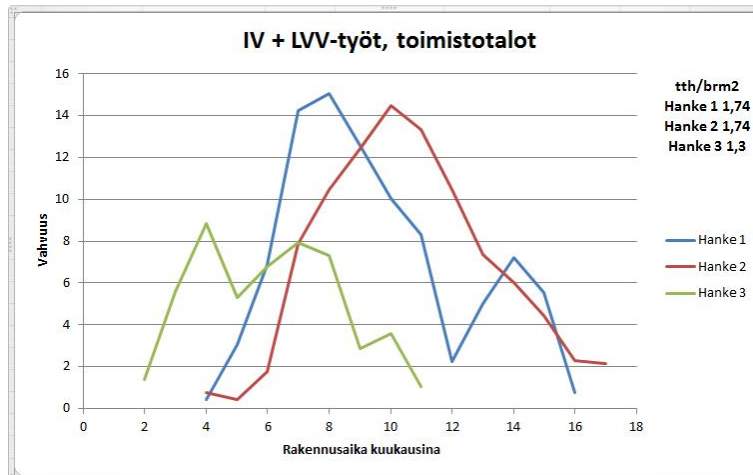
Kuva 36. Sprinkleritöiden vertailu.

Sprinkleritöissä on hankkeessa 4 kertynyt yli tuplasti enemmän tunteja kuin oli lasken-  
nallisesti ajateltu. Tämä saattaa osin johtua siitä, että kyseiseen hankkeeseen raken-  
nettiin sprinkleri -vesiallas. Työ saattoi siis olla oletettua hankalampi.



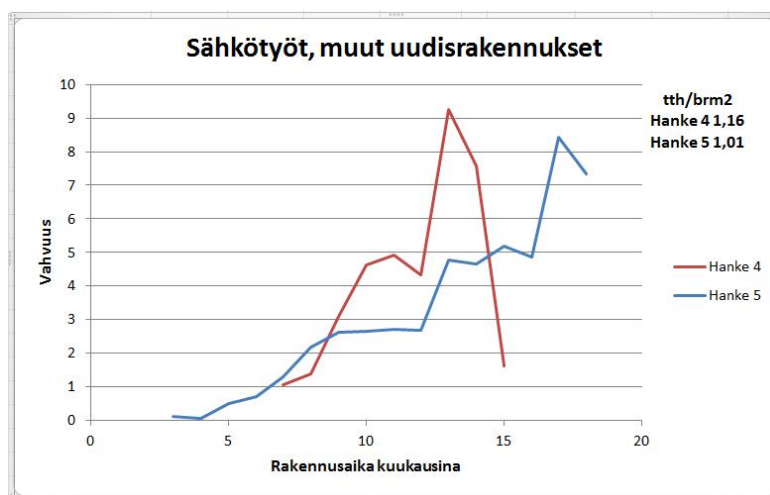
Kuva 37. Sähkötöiden vahvuuskäyrät toimistotaloissa.

Vertaamalla hankkeita 1 ja 2 huomaa, että hankkeessa 1 vahvuus on lähtenyt jyrkempään nousuun kuin hankkeessa 2, mikä näkyy hallitumpana loppuna. Hankkeessa 2 vahvuus on pysynyt korkeana loppuun asti.



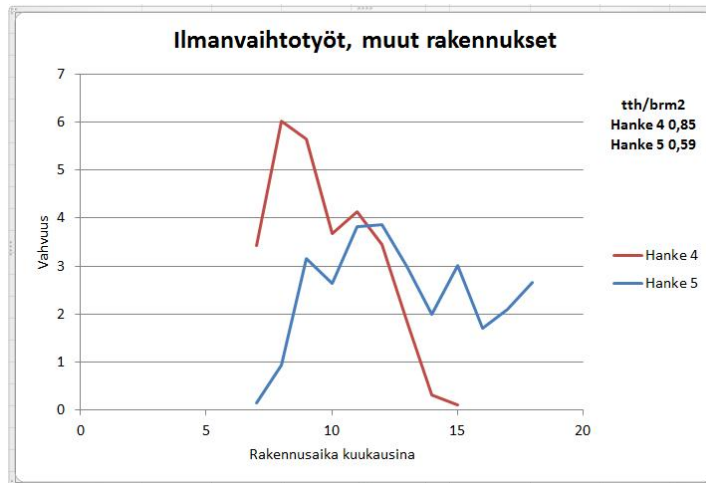
Kuva 38. IV+LVV -töiden vahvuuskäyrät toimistotaloissa.

Toisin kuin sähkötöissä, IV+LVV -töiden osalla vahvuus on hankkeissa 1 ja 2 lähtenyt jyrkempään nousuun. Mahdollisesti tämän johdosta vahvuus laskee tasaisesti lähestytessä luovutusta. Hankkeessa 1 äkillinen vahvuuden lasku kuukauden 12 kohdalla, johtuu lomakuukaudesta. Tästä voi päätellä, että rakentamisaika on ollut, jopa hieman väljä, koska on pystytty pitämään myös lomaa. Myös hankkeessa 2 vahvuus laskee tasaisesti alaspäin, mutta ei yhtä jyrkästi kuin hankkeessa 1.



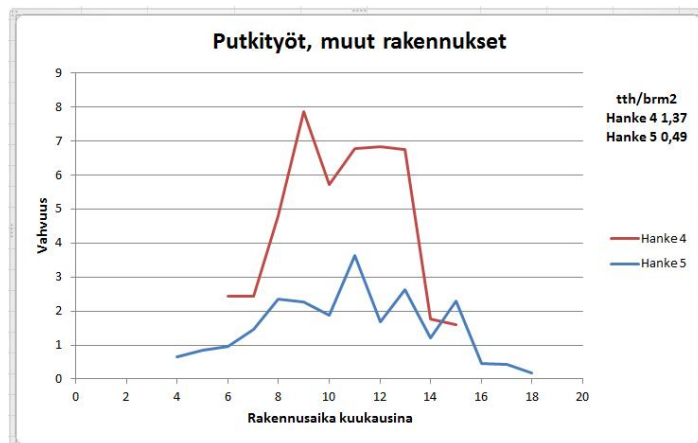
Kuva 39. Sähkötöiden vahvuuskäyrät, muut uudisrakennukset.

Vahvuuskäyrät luotiin muiden uudisrakennuksien kohdalla vain hankkeista 4 ja 5. Vahvuuskäyristä näkee, että hankkeessa 4 vahvuus on tuplaantunut muutama kuukausi ennen luovutusta. Aikataulusta ollaan siis oltu jäljessä, ja siihen on reagoitu voimakkaasti. Hankkeessa 5 vahvuus on taas noussut koko hankkeen ajan ollen korkeimmalla viimeisten kuukausien aikana ennen luovutusta.



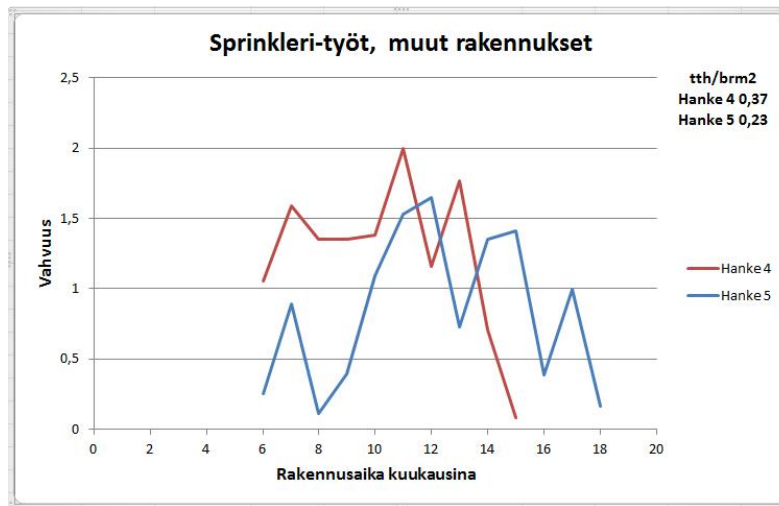
Kuva 40. Ilmanvaihtotöiden vahvuuskäyrät, muut rakennukset.

Hankkeessa 4 on lähdetty heti töiden aloituskuukautena suurella vahvuudella liikkeelle, minkä johdosta vahvuus on laskenut tasaisesti loppua kohti ollen lopussa lähellä nolaa. Hankkeessa 5 vahvuus on kasvanut muutaman kuukauden aikana nopeasti, mutta ei ole loppua kohden laskenut. Viimeisten kuukausien aikana vahvuus on lähtenyt vielä nousuun, mikä tarkoittaa kiirettä lopussa.



Kuva 41. Putkitöiden vahvuuskäyrät, muut rakennukset.

Hankkeessa 4 on pienemmästä bruttolaaajuudesta huolimatta reilusti suurempi vahvuus kuin hankkeessa 5. Vahvuuskäyrän perusteella voi sanoa, että hankkeen 5 putkitöistä puuttuu kirjautuneita tunteja RamiSmartiin. Vahvuus on vain noin yhden kolmasosan hankkeen 4 vahvuudesta. Hankkeessa 5 vahvuus on kaiken kaikkiaan pysynyt tasaisen alhaisena koko ajan.



Kuva 42. Sprinkleritöiden vahvuuskäyrät, muut rakennukset.

Vaikka hanke 5 oli rakennusajaltaan kolme kuukautta pidempi, aloitettiin sprinklerityöt hankkeissa samaan aikaan. Hankkeessa 4 vahvuus on pysynyt tasaisempana ja lopuksi lähtenyt jyrkkään laskuun. Hankkeessa 5 vahvuus on heilahdellut enemmän ja vielä toiseksi viimeisenä kuukautena vahvuutta on jouduttu vielä kasvattamaan.

#### 4.4 Excel-pohjainen työkalu hankkeen keston ja vahvuuden arviointiin

Tarkasteluissa olleiden hankkeiden sekä NCC:n sisäisen projektiportaalin hanketietojen avulla luotiin Excel-pohjainen työkalu hankkeen keston sekä vahvuuden arviointiin. Työkalu perustuu hankkeen normaalikestokaavaan isoille kohteille:

$$T_N = 4,6 \cdot \ln(\text{hankkeen kokonaistyötuntimäärä}) - 35. \quad (5, \text{ s.62})$$

Ensimmäisenä tarkastelussa olleiden uudisrakennusten lisäksi projektiportaalista haettiin 10 toimistotalon bruttoala sekä toteutunut rakennusaika, toimistotalojen kohdalla vertailukohtia oli siis 13. Muiden uudisrakennusten osalta vertailukohtia oli paljon vä-

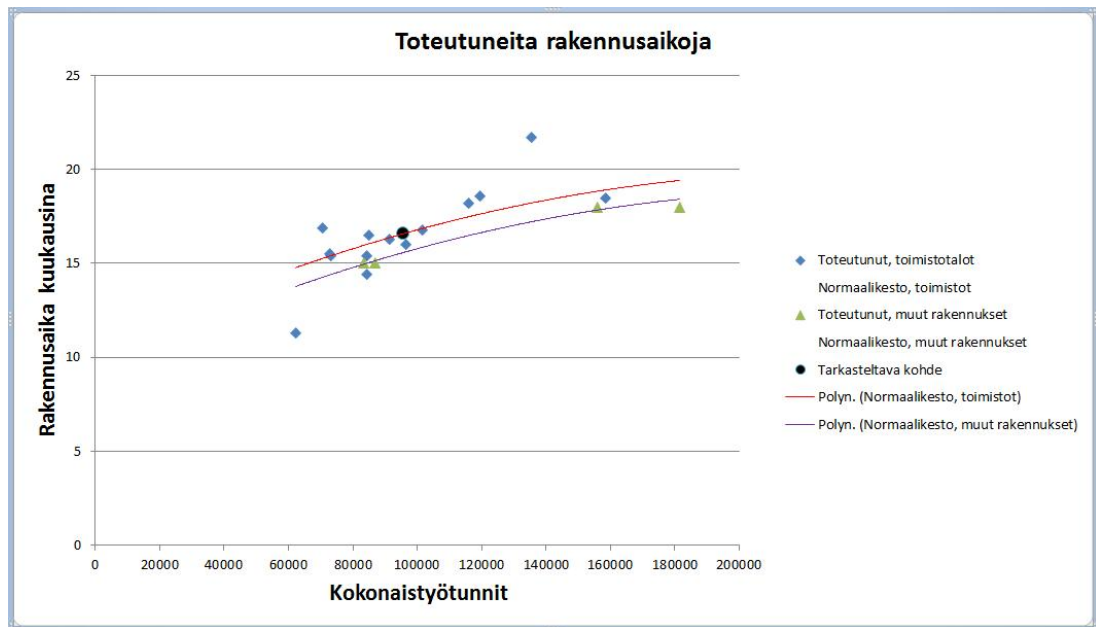
hemmän (4), joista yhden kohteen rakentamisaika otettiin hankkeen yleisaikataulusta olettaen, että hanke valmistuu ajallaan.

Seuraavaksi hankkeiden ESTI-model-laskelmista tarkistettiin niiden laskennallinen kokonaistyömenekki. Kokonaistyömenekin sekä bruttoalan avulla laskettiin jokaisen kohteen kokonaistyötunnit. Kokonaistyötuntien perusteella muodostettiin kaavio niin, että x-akseli kuvasi kokonaistyötunteja ja y-akseli toteutunutta rakennusaikaa kuukausina. Toimistotaloja sekä muita uudisrakennuksia tarkasteltiin omina kokonaisuuksinaan.

Tämän jälkeen kokonaistyötunnit syötettiin normaalikestokaavaan isoille kohteille, joka antoi kohteille normaalikeston mukaisen rakennusajan. Lähes kaikkien kohteiden osalta normaalikesto antoi kuitenkin reilusti pidemmän rakennusajan, kuin mikä oli toteutunut. Kaavaa muokattiin niin, että se vastasi toteutuneita rakennusaikoja. Toimistotaloille ja muille uudisrakennuksille muokattiin omat kaavat. Tarkastelussa käytettyjen kohteiden kokonaistyötuntimäärä oli 50 000- 200 000 tunnin välillä eli toimivuutta ei ole tarkasteltu tätä suuremmilla kohteilla. Muokatut normaalikestokaavat:

Toimistotaloille:  $4,5 \cdot \ln(\text{kokonaistyötunnit}) - 35$

Muille uudisrakennuksille:  $4,5 \cdot \ln(\text{kokonaistyötunnit}) - 36$



Kuva 43. Hankkeen keston arviointi.

Siniset merkit kuvaavat toteutuneiden toimistotalohankkeiden rakennusaikoja ja vihreät kolmiot kuvaavat muiden uudisrakennuksien toteutuneita rakennusaikoja, pois lukien oikeanpuolimmainen piste, jonka rakennusaika on otettu yleisaikataulusta. Punainen viiva kuvaa muokattua normaalikestokaavaa toimistotaloille ja violetti viiva kaavaa muille uudisrakennuksille.

**Valikko:**

**Kokonaistyömenekki:**   
**Bruttolaajuus:**

Kuva 44. Hankkeen keston ja vahvuuden arviointityökalu, syötettävät tiedot.

Työkalua käytettäessä käyttäjän tulee ensin valita, onko kyseessä toimistotalo vai muu uudisrakennus. Tämän jälkeen tulee syöttää hankkeen bruttolaajuus sekä arvioitu kokonaistyömenekki. Kokonaistyömenekin valitsemisen avuksi työkalussa on taulukko, jossa on sekä laskennallisia että toteutuneita kokonaistyömenekkejä eri rakennustyypeistä.

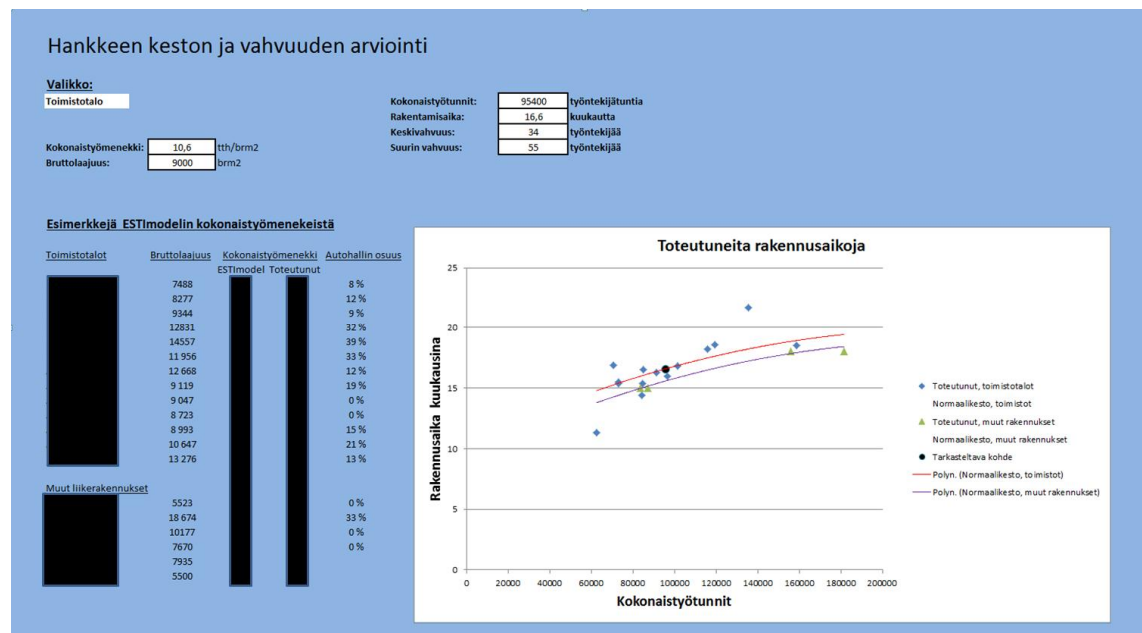
Kun käyttäjä on syöttänyt bruttolaajuuden sekä arvioimansa kokonaistyömenekin, muodostetaan niiden avulla hankkeen kokonaistyötunnit. Kokonaistyötuntien perusteella työkalu laskee muokatulla normaalikestokaavalla hankkeelle rakentamisaajan kuukausina yhden desimaalin tarkkuudella.

<b>Kokonaistyötunnit:</b>	95400	<b>työntekijätuntia</b>
<b>Rakentamisaika:</b>	16,6	<b>kuukautta</b>
<b>Keskivahvuus:</b>	34	<b>työntekijää</b>
<b>Suurin vahvuus:</b>	55	<b>työntekijää</b>

Kuva 45. Työkalun antamat tulokset.

Rakentamisaikaan perustuen hankkeelle lasketaan arvioitu keskivahvuus sekä suurin vahvuus. Vahvuuden laskennassa käytetään vakiona arvoa, että kuukaudessa on 168 työtuntia (21tv x 8 h/tv). Tulokset pyöristetään aina lähimpään kokonaislukuun. Suurimman vahvuuden laskemisessa käytetään aikaisemmin esitettyjen tulosten perusteella

la kerrointa 1,6. Tällä kertoimella kerrotaan keskivahvuus, jolloin syntyy arvioitu suurin vahvuus.



Kuva 46. Kokonaisnäkömähankkeen keston ja vahvuuden arviointi työkalusta.

Kuvassa 46 esitetään kokonaisnäkömähankkeen keston ja vahvuuden arviointi työkalusta. Vasemmassa alanurkassa annetaan esimerkkejä kokonaistyömenekkeistä, joiden avulla käyttäjä voi arvioida oman kohteensa kokonaistyömenekkiä. Vasemman puoleinen sarake kertoo hankkeen nimen, seuraavassa sarakkeessa kerrotaan kohteen bruttoala. Kolmannessa sarakkeessa vasemmalta esitetään sekä ESTImodelin mukaisia, että tutkimuksessa selvitettyjä toteutuneita kokonaistyömenekkejä. Esittämällä myös ESTImodelin mukaisia kokonaistyömenekkejä, on työkalun käyttäjällä laajemmat vertailukohdat oman hankkeen kokonaistyömenekin arviointiin.

#### 4.5 Toteumatietojen luotettavuus

Empiirisessä tutkimuksessa kriittisyys on tärkeä osa tutkimusta ja tutkijalla tulee olla, jonkinlainen käsitys oikeista suuruusluokista. Tässä tutkimuksessa hyvänä vertailukohdaksi toimi ESTImodel-laskelmat, joita on yrityksessä tehty jo yli 10 vuotta. Jos esimerkiksi kokonaistyötunnit eivät olleet lähelläkään ESTImodelillä arvioituja tunteja, oli kyseinen kohde turha ottaa lähempään tarkasteluun. Näin kävi tutkimuksessa yhden

hankkeen osalta. Hanke oli uudiskohde, liikerakennus Lappeenrantaan. RamiSmartista saadut kokonaistyötunnit, johon tässä vaiheessa sisältyivät myös pääurakoitsijan työnjohdon tunnit, olivat alle puolet ESTImodelin arvioiduista tunneista. Tästä pystyi tekemään päätelmän, että tunteja on runsaasti jäänyt kirjaamatta, eikä hanketta näin ollen otettu tarkempaan tarkasteluun.

Maanrakennusvaiheen alkaessa työmaata ei usein ole vielä kokonaan aidattu eikä RamiSmart ole välttämättä vielä käytössä, joten maanrakennustöiden osalta toteutuneet tuntitiedot ovat alhaisempia kuin todelliset työhön käytetyt tunnit.

RamiSmart ilmoittaa tuntikertymän minuutin tarkkuudella, mutta tietoja kerätessä ilmeni, että järjestelmässä on melko paljon tasan kahdeksan tunnin kirjauksia. Tasan kahdeksan tunnin kirjaukset johtuvat siitä, että työntekijä on työmaalle mennessään kirjannut itsensä sisään, mutta poistuessaan työmaalta hän ei ole kirjannut itseään ulos.

Asiaa tarkasteltiin tarkemmin yhden työmaan osalta. Neljältä eri kuukaudelta, rakentamisen eri vaiheista, laskettiin tasan kahdeksan tunnin kirjausten tuntikertymä ja se jaettiin koko kuukauden toteutuneella tuntikertymällä. Tasan kahdeksan tunnin kirjausten määrä oli joka kuukaudelta noin 15 -17 %.

Kyseiset kirjaukset tulivat pääosin aliurakoitsijoiden työnjohtajilta sekä ulkopuolisilta urakoitsijoilta (maanrakentajat, asfaltointityöntekijät sekä muut pihaurakoitsijat). Aliurakoitsijoiden työnjohtajat ovat työmaalla usein tunnin tai maksimissaan kaksi, tämä perustuu omiin kokemuksiini. Ulkopuoliset urakoitsijat ovat taas usein ylitöissä ja viimeisten joukossa lähdössä työmaalta pois, joten se tasoittaa tilannetta toiseen suuntaan. Tämä aiheuttaa sen, että toteutuneita tunteja on muutama prosentti liikaa. Tarkkaa osuutta on vaikea arvioida.

Vahvuutta laskettaessa tehtiin oletus, että työpäivän pituus on kahdeksan tuntia ja töitä tehdään vain arkipäivisin. Todellisuudessa töitä tehdään myös iltaisin sekä välillä myös viikonloppuisin. Oletus tehtiin siitä syystä, että normaali työpäivän pituus on kahdeksan tuntia.

Viikonloppu- sekä pyhäpäivätöitä tarkasteltiin kolmen hankkeen osalta. Viikonloppujen sekä pyhäpäivien työtunnit laskettiin koko hankkeen ajalta, minkä jälkeen tunnit jaettiin hankkeen kokonaistyötunneilla. Prosenttiosuudet olivat seuraavat: hanke 4, 2,5 %,



hanke 5, 3,6 % ja hanke 6, 6,5 %. Viikonloppuina ja pyhäpäivinä ei kuitenkaan lähes koskaan tehdä töitä täydellä vahvuudella. Oman kokemukseni mukaan vahvuus on usein noin yksi neljäsosa keskivahvuudesta.

Myös ylityöpäivien pituuksia tarkasteltiin satunnaisotannalla yhden työmaan osalta. Työmaan ajalta valittiin satunnaisesti 20 työpäivää, joista tarkastettiin, koska viimeinen henkilö on kulkenut portista ulos. Tuloksena oli, että noin kaksi kolmasosaa näistä työpäivistä päättyi 18-19 välissä. Tämä viittaisi siihen, että ylitöitä on tehty noin kolme tuntia päivässä. Oman kokemuksieni mukaan vahvuus on myös ylitöissä noin yksi neljäsosa työpäivän keskivahvuudesta, eivätkä kaikki henkilöt tee edes edellä mainittua kolmea tuntia ylitöitä.

Näin ollen jos laskennalliset työtunnit laskettaisiin työmaan aukiolon mukaan niin, että työpäivän pituus olisi esimerkiksi 10- 11 tuntia ja viikonloppu- ja pyhäpäivät laskettaisiin myös mukaan, vääristäisi se keskivahvuutta huomattavasti. Olettamalla, että töitä tehdään vain arkipäivisin ja että työpäivän pituus on kahdeksan tuntia, pysyvät hankkeet vertailukelpoisina keskenään.

Kokonaistyoimenekin suuruuteen vaikuttaa myös alkuperäiseen urakkaan kuulumattomat työt. Kiinteähintaisissa urakoissa näitä kutsutaan lisä- ja muutostöiksi ja tavoitehintaishintaisissa urakoissa tavoitehintamuutoksiksi. Alkuperäiseen urakkahintaan verrattuna näitä töitä oli hankkeissa 2-6 %. Määrältään vähiten näitä oli hankkeessa 4, vain noin 2 % ja eniten hankkeessa 1, noin 6 %. Näiden töiden todellista vaikutusta kokonaistyoimenekkiin on erittäin vaikea määritellä, koska töihin kuuluu myös aina materiaalikustannuksia. Osassa hankkeista tavoitehintamuutos- / lisä- ja muutostöitä tehtiin vasta luovutuksen jälkeen. Ja, koska tutkimuksessa käsiteltiin työntekijätunteja vain luovutukseen asti, niin vaikutuksen arvioiminen hankaloitui entisestään.

Lisäksi kahdessa hankkeessa, 5 ja 6, talotekniikkatyöt olivat alistettuja sivu-urakoita, joten näiden hankkeiden osalta ei ole tiedossa talotekniikkatöiden lisä- ja muutostöitä, koska lisätyöt olivat ja tilaajan sivu-urakoitsijoiden välisiä sopimussuhteesta johtuen. Rakennusteknisiä tavoitehintamuutoksia/ lisä- ja muutostöitä oli 7 % hankkeessa 5 ja 11 % hankkeessa 6.

Näiden syiden johdosta tavoitehintamuutoksien/lisä- ja muutostöiden vaikutusta, ei otettu tarkempaan tarkasteluun. Vaikutusta ei kuitenkaan voi jättää kokonaan huomioimatta.

## 5 Johtopäätökset

### 5.1 Empiirisen ja laskennallisen tiedon vertailu

Empiirisen ja laskennallisen tiedon vertailulla saatiin selville toteutuneet kokonaistyömenekit hankkeille sekä toteutuneiden ja laskennallisten tuntien ja menekkien tason vaihtelu. Toteutuneet kokonaistyömenekit ovat arvokasta tietoa, ja niitä voi käyttää vertailuna tuleviin hankkeisiin. Yksittäisen hankkeen perusteella ei kuitenkaan kannata määritellä tietynlaisen rakennustyyppin kokonaistyömenekkiä, koska kaikki projektit ovat erilaisia.

Toteutuneiden ja laskennallisten tuntien osalta tarkasteltiin prosentuaalisen tason vaihtelun vertailua. Tätä vertailua tehtiin viidestä hankkeesta, joista yksi (hanke 3) oli toteutuneiden tuntien perusteella epäluotettava. Lopuista neljästä hankkeesta kaikissa toteutunut kokonaistyömenekki oli 15- 20 % suurempi kuin laskennallinen. Kokonaistyömenekkiä tarkastellessa täytyy muistaa, että maanrakennustöiden todellinen tuntimäärä on suurempi kuin RamiSmartista saatu toteutunut tuntimäärä, koska usein maanrakennustöitä aloitettaessa työmaata ei ole vielä aidattu eikä sähköistä kulunvalvontajärjestelmää välttämättä asennettu.

Hankkeen kokonaistyömenekki koostuu eri rakentamisvaiheiden työmenekeistä. Suurimmat prosentuaaliset erot toteutuneen ja laskennallisen välillä rakentamisvaiheissa olivat käyttö- ja yhteiskustannuksiin liittyvissä töissä sekä talotekniikassa. Käyttö- ja yhteiskustannusten toteutuneet tunnit saattoivat olla jopa 90 % suuremmat kuin laskennalliset. Pienin ero oli hankkeessa 4, jossa toteutuneet tunnit olivat 30 % suuremmat. Talotekniikassa vaihtelu oli pienempää. Pienin ero (4 %) oli hankkeessa 7 ja suurin ero (51 %) hankkeessa 4.

Porttien toteumatietoa kannattaa käyttää hyväksi myös jatkossa. Tämän kannalta oleellista on, että kaikki työmaat aidataan kunnolla, jolloin kulku työmaalle tapahtuu aina portin kautta. Täten vastaavanlaista tarkastelua pystytään tekemään myös tulevaisuudessa.

## 5.2 Vahvuus

Vahvuuskäyrän muodostaminen on helppo visuaalinen tapa esittää hankkeen työntekijävahvuuden kehitys ajan funktiona. Hankkeen rakennustyyppistä riippumatta uudisrakennuksissa suurin vahvuus oli runko- sekä vaipanummistustöiden ja sisäpuolen töiden limittyessä toisiinsa.

Suurin vahvuus oli toimistotaloissa noin 1,7-kertainen keskivahvuuteen nähden. Hanketta 3 ei voida myöskään tässä vertailussa pitää luotettavana toteutuneiden tuntien puuttumisen takia. Muissa uudisrakennuskohteissa (hankkeet 4 -6) suurin vahvuus oli noin 1,5-kertainen keskivahvuuteen nähden.

Tulosten perusteella vahvuuden tulisi lähteä laskuun viimeistelyvaiheen alkaessa. Viimeisten kuukausien aikana vahvuuden tulisi olla alle keskivahvuuden. Jos vahvuus kasvaa vielä viimeisten kuukausien aikana, on lopussa tullut kiire saada viimeiset työt valmiiksi ennen kohteen luovutusta.

Vahvuuden pitäisi siis lähteä tarpeeksi jyrkkään nousuun alussa, jotta kiirettä ei syntyisi hankkeen lopussa ja hanke saataisiin vietyä hallitusti loppuun asti.

Korjauskohteiden osalta (hankkeet 7 ja 8) suurin vahvuus oli hankkeen viimeisten kuukausien aikana. Tämä osoittaa, että hanke ei ole pysynyt suunnitellussa aikataulussa, vaan lopussa vahvuutta on jouduttu kasvattamaan, jotta hanke on saatu luovutettua ajallaan. Suurin vahvuus oli noin 1,8-kertainen keskivahvuuteen nähden. Toteutuneet ja laskennalliset keskivahvuudet vastasivat toisiaan pois lukien hanke 7, jossa keskivahvuus oli 1,5-kertainen laskennalliseen nähden.

### 5.3 Talotekniikka

Prosentuaalisen tason vaihtelun perusteella voidaan sanoa, että laskennallisia työmenekkejä tulisi nostaa, jotta ne vastaisivat toteutuneita. Sähkötöiden työmenekiksi toimistotaloissa voidaan määrittää  $0,7 \text{ tth/brm}^2$ . Vastaavasti IV+LVV-töille voidaan toimistotaloille määritellä työmenekiksi  $1,74 \text{ tth/brm}^2$ , joka oli toteutunut työmenekki hankkeissa 1 ja 2. Toteutunut työmenekki oli yli 20 % suurempi kuin laskennallinen.

Muiden hankkeiden kohdalla työmenekkejä voidaan pitää vertailukohtina tulevaisuuden hankkeille. LVV-töiden osalta laskennallista työmenekkiä pitäisi nostaa, toteutunut työmenekki oli 40 % tai yli suurempi kuin laskennallinen. IV-töissä vaihtelu oli suurta molempiin suuntiin.

Työmenekit ovat aina projektikohtaisia, joten niitä ei voi käyttää absoluuttisena totuutena tietylle rakennustyyppille. Mutta sekä toimistotaloissa että asuinkerrostaloissa talotekniikka on hyvin samankaltainen. Talotekniikkatöiden työmenekkeihin vaikuttaa muun muassa suunnitelmaristiriidat, joita joka hankkeessa yleensä on.

## 6 Tulosten hyödyntäminen yrityksen toiminnassa

### 6.1 Tarjouslaskenta

Tulosten pohjalta laaditun työkalun perusteella pystytään arvioimaan hankkeen kesto bruttolaaajuuden sekä kokonaistyömenekin perusteella. Tarjouslaskentavaiheessa rakentamisajan kireyden tarkistus on erittäin tärkeää, koska projektin onnistumisen kannalta riittävä rakennusaika on oleellinen asia. Jos rakentamiselle on varattu liian lyhyt rakennusaika, on hanke laadullisesti enemmän riskialtis.

### 6.2 Työsuunnittelu

Työsuunnittelussa tuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi yleisaikataulun rakentamisvaihetasojen tehtävien kireyden tarkistukseen. Talotekniikan osalta tuloksia voidaan

hyödyntää sekä kokonaistyömenekkien että vahvuuden osalta. Tällöin työsuunnittelu-vaiheessa pystytään arvioimaan töille varattava realistinen aika.

Vahvuuksien avulla voidaan mitoittaa esimerkiksi sosiaalityöt oikean kokoisiksi. Vahvuuden avulla voidaan määritellä alustavasti myös työnjohdon resurssitarvetta hankkeelle.

### 6.3 Työnjohto

Työnjohto voi hyödyntää tuloksia erityisesti talotekniikan osalta. Talotekniikan työmenekkejä on vaikea itse arvioida eikä ne ole kunnolla edes tiedossa tällä hetkellä. Nyt tuloksien perusteella voidaan arvioida erityyppisten hankkeiden työmenekkejä. Talotekniikan edistymisen seuranta on yksi vaikeimmista töistä työmaalla. Kun työjohtaja tietää työmenekit, tietää hän myös vaiheen työtunnit sekä resurssit. Pitämällä itse kirjaa resursseista ja tehdyistä tunneista auttaa se edistymisen seurannassa. Hyvänä apuna voi käyttää esimerkiksi RamiSmartia.

## 7 Yhteenveto

Tutkimuksessa oli kaksi tavoitetta. Ensimmäisenä tavoitteena oli kerätä sähköisestä kulunvalvontajärjestelmästä (RamiSmart) empiiristä tietoa toteutuneista työntekijätunneista sekä selvittää, millä tavoilla tietoja voidaan käyttää hyväksi. Toisena tavoitteena oli selvittää NCC:n toimitilarakentamisen yksikön hankkeiden toteutuneita rakennusai-koja ja muodostaa näiden perusteella työkalu hankkeen keston ja vahvuuden arviointiin.

Empiirisen tutkimuksen perusteella saatiin selville hankkeiden kokonaistytötunnit, joiden avulla muodostettiin kokonaistyömenekit koko hankkeelle, hankkeen eri rakentamisvaiheille sekä talotekniikan eri työlajeille. Tämän jälkeen tietoja verrattiin laskennallisiin ESTI-model-laskelmiin, jolloin saatiin selville laskennallisten ja toteutuneiden työmenekkien tason vaihtelu. Tulosten perusteella laskennallisia työmenekkejä pystytään muokkaamaan vastaamaan toteutunutta. Empiirisen tutkimuksen perusteella hankkeille

muodostettiin myös vahvuuskäyrät. Vahvuuskäyrien avulla selvisi, että suurin vahvuus on runko- ja vaipanummistustöiden sekä sisävaiheen limittyessä ja että suurin vahvuus on noin 1,5- 1,7-kertainen keskivahvuuteen nähden.

Toisena tavoitteena oli kehittää työkalu hankkeen keston ja vahvuuden arviointiin. Työkalun perustana toimi normaalikestokaava, jota muokattiin vastaamaan yrityksen toteutuneita rakennusaikoja. Lähtötietoina työkalu tarvitsee hankkeen bruttoalan sekä käyttäjän arvioiman kokonaistyömenekin, jonka määrittämisen apuna työkalussa on ESTI-modelin laskennallisia kokonaistyömenekkejä sekä tutkimuksessa selvitettyjä toteutuneita kokonaistyömenekkejä. Näiden tietojen perusteella työkalu antaa rakentamisaajan, keskivahvuuden sekä suurimman vahvuuden. Suurimman vahvuuden määrittämiseen käytetään kerrointa 1,6, joka selvitettiin tässä tutkimuksessa.

Tutkimuksessa saatuja tuloksia voidaan käyttää eri muodoissa hyväksi muun muassa tarjouslaskennassa sekä työsuunnittelussa, joissa voidaan hyödyntää arvioitua rakentamisaikaa sekä rakentamisvaiheiden työmenekkejä. Työnjohto voi erityisesti käyttää talotekniikan vahvuuskuvaajia sekä työmenekkejä työvaiheen seurannan tukena.

Kirjallisuuskatsauksessa perehdyttiin rakennusaikaan vaikuttaviin tekijöihin sekä rakentamisaajan normaalikeston määrittämiseen. Kirjallisuusosiossa esiteltiin myös muutamia rakennushankkeita, joissa työsuunnittelu on ollut hyvää ja rakentamisaika on ollut lyhyt.

Työssä saavutettiin asetetut tavoitteet asetetussa aikataulussa. Alkuperäisten tavoitteiden lisäksi tuli uusia tutkittavia asioita, esimerkiksi talotekniikan työmenekkien määrittäminen, koska huomattiin, että talotekniikan laskennalliset ja toteutuneet menekit vaihtelivat suuresti ja talotekniikkaa pidetään vaikeasti seurattavana työvaiheena.

Opinnäytetyön tekemisen aikana varmistui, että tutkimusta tullaan jatkamaan diplomityönä keväällä 2018 Juho Stylmanin toimesta. Jatkotutkimuksessa olisi mielenkiintoista selvittää, miten alueiden väliset erot näkyvät työmenekkeissä. Miten esimerkiksi Oulun, Turun tai Lahden seutujen työmenekit eroavat tässä tutkimuksessa selvitetystä pk-seudun työmenekkeistä. Jatkotutkimuksessa olisi hyvä tarkastella myös hankkeen keston ja vahvuuden arviointityökalun toimivuutta lisäämällä kuvaajaan uusia vertailukohtia toteutuneista rakennusajoista. Työkaluun voisi lisäksi kehittää vahvuuskertymäkuvaajan, jolloin käyttäjä voisi havainnoida laskennallisen vahvuuden kehityksen.

## Lähteet

- 1 Junnonen Juha-Matti. 2010. Talorakennushankkeen tuotannonhallinta. Suomen Rakennusmedia Oy.
- 2 Chan D & Kumaraswamy M. 2002. Compressing construction durations: lessons learned from Hong Kong building project. Building and Environment 34.
- 3 2016. Aikataulukirja 2016. 13., uudistettu painos. Rakennustieto Oy.
- 4 Peltola, Aki. 2015. Uudisrakentamisen ajoitusmalli. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.
- 5 2017. Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus. 2.painos. Rakennustieto Oy.
- 6 Eramo Olavi; Hynynen Tapio & Kiiras Juhani. 1978. Rakennustyö. Rakentajain Kustannus Oy.
- 7 Verkkojulkaisu, <http://historianet.fi/tekniikka/rakennushankkeet/empire-state-building-maailman-kaheksas-ihme>. Luettu 21.12.2017.
- 8 Verkkojulkaisu, [https://www.esbnyc.com/sites/default/files/esb\\_fact\\_sheet\\_4\\_9\\_14\\_4.pdf](https://www.esbnyc.com/sites/default/files/esb_fact_sheet_4_9_14_4.pdf). Luettu 21.12.2017.
- 9 Verkkojulkaisu, [http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUK\\_EwiXgcLqn6zYAhWGPZoKHdkCBvkQFggI MA A&url=http%3A%2F%2Fwww.oppi.uef.fi%2Faducate%2Fprojektit%2Fmonikko%2FJehovan%2520todistajat%2520\(13.10.2011\).ppsx&usq=AOvVaw1pWoHemmF9Zs2uB\\_JuVUrN](http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUK_EwiXgcLqn6zYAhWGPZoKHdkCBvkQFggI MA A&url=http%3A%2F%2Fwww.oppi.uef.fi%2Faducate%2Fprojektit%2Fmonikko%2FJehovan%2520todistajat%2520(13.10.2011).ppsx&usq=AOvVaw1pWoHemmF9Zs2uB_JuVUrN). Luettu 22.12.2017.

## **Haastattelu**

Haastattelussa haastateltiin hankesuunnittelupäällikkö Esko Kerkkästä. Haastattelu suoritettiin sähköpostin välityksellä. Vastaus saatiin 19.1.2018.

### Haastattelukysymykset

1. Mikä on ESTImodel?
2. Mihin ESTImodelia käytetään?
3. Mihin ESTImodel perustuu?